

MASTER

Diep leren in een virtueel scheikunde practicum

Maes, B.H.W.; de Maat, B.

Award date:
2021

[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



Diep leren in een virtueel scheikunde practicum

Auteurs: Bart Maes (493882) Scheikunde en Bram de Maat (499099) Natuurkunde

Vak: Verslag van Onderzoek van Onderwijs (beiden 10 EC's)

Datum: 22 oktober 2021 **Begeleider ESOE:** Wendy Sanders

Verklaring inzake TU/e Gedragscode Wetenschapsbeoefening in het kader van de Masterscriptie

Ik heb kennis genomen van de TU/e Gedragscode Wetenschapsbeoefening¹.

Hierbij verklaar ik dat mijn Masterscriptie conform de regels van de TU/e Gedragscode Wetenschapsbeoefening tot stand is gekomen.

Datum

22 oktober 2021

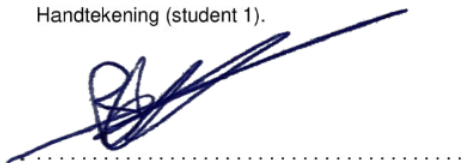
Roepnaam Achternaam (student 1)

Bart Maes

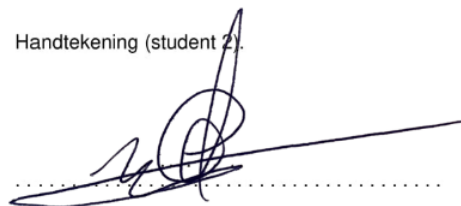
Roepnaam Achternaam (student 2)

Bram de Maat

Handtekening (student 1).



Handtekening (student 2).



Lever de ondertekende verklaring in bij de coördinator van Onderzoek van Onderwijs

¹ Zie: <http://www.tue.nl/universiteit/over-de-universiteit/integriteit/wetenschappelijke-integriteit/>

Hier is ook de Nederlandse Gedragscode Wetenschapsbeoefening van de VSNU te vinden.

Meer informatie over wetenschappelijke integriteit is te vinden op de websites van de TU/e en de VSNU.

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 7 |
| Inleiding en aanleiding | 8 |
| Theoretisch kader | 9 |
| Definitie diep leren en relatie met scheikunde en micro- en macroniveau | 9 |
| Misconcepten | 11 |
| Practicum en scheikunde | 12 |
| Virtueel practicum | 15 |
| Cognitive load theory | 16 |
| SOLO taxonomie | 20 |
| Onderzoeksvragen | 21 |
| Deelvragen | 21 |
| Onderzoeksmethode | 22 |
| Inleiding | 22 |
| Instrumenten | 22 |
| Analyse | 22 |
| Virtueel lab | 23 |
| Participanten | 26 |
| Procedure | 29 |
| Resultaten | 31 |
| Inleiding | 31 |
| Resultaat deelvraag 1 | 31 |
| Inzichten vanuit deelvraag 1 | 32 |
| Resultaat deelvraag 2 | 33 |
| Inzichten vanuit deelvraag 2 | 35 |
| Resultaat deelvraag 3 | 37 |
| Inzichten vanuit deelvraag 3 | 37 |
| Overige inzichten vanuit theoretisch kader | 39 |
| Resultaat hoofdvraag van het onderzoek | 41 |
| Analyse opgave 17 | 42 |
| Waarneming en logische stappen | 42 |
| Correcte antwoorden | 43 |

| | |
|--|-----------|
| Analyse correcte antwoorden | 43 |
| Foutieve antwoorden | 43 |
| Analyse 1 | 43 |
| Analyse 2 | 44 |
| Analyse 3 | 44 |
| Analyse 4 | 44 |
| Analyse 5 | 44 |
| Analyse opgave 19 | 45 |
| Waarneming en logische stappen | 45 |
| Correcte antwoorden | 45 |
| Analyse correcte antwoorden | 45 |
| Foutieve antwoorden | 46 |
| Analyse 1 | 46 |
| Analyse 2 | 46 |
| Analyse 3 | 46 |
| Analyse 4 | 47 |
| Analyse 5 | 47 |
| Analyse 6 | 47 |
| Analyse diep leren | 48 |
| Discussie en conclusie | 49 |
| Reflectie op onderzoek | 49 |
| Conclusie | 52 |
| Vervolgonderzoek | 52 |
| Implicaties voor onderwijspraktijk | 52 |
| Bronnen | 54 |
| Bijlage 1: Virtueel practicum (prototype 2) | 56 |
| Bijlage 2: Virtueel practicum (prototype 2), uitwerkingen | 64 |
| Bijlage 3: Data analyse overzicht | 70 |
| Bijlage 4: Analyse vragen 17+19 | 71 |
| Bijlage 5: Brondocument | 72 |
| Bijlage 6: Prototype 0 + feedback | 85 |
| Bijlage 7: Prototype 1 + feedback | 89 |

Samenvatting

Tijdens de afgelopen lockdowns was het niet mogelijk om een fysiek practicum op school te organiseren. Een alternatief is een virtueel practicum. Wij hebben onderzoek gedaan naar het inzetten van een virtueel practicum waarbij de leerling dit practicum vanuit thuis kunnen uitvoeren. Onderzocht is of en hoe diep leren bij de leerlingen gestimuleerd kan worden. Na een literatuurstudie is lesmateriaal ontwikkeld voor het virtueel practicum. Na uitvoering door leerlingen zijn de data geanalyseerd en ingedeeld volgens de SOLO taxonomie om zo inzicht te krijgen of diep leren heeft plaatsgevonden. Bij het overgrote deel van de leerlingen is dit bereikt. We kunnen concluderen dat dit virtueel practicum een goed alternatief is voor een traditioneel practicum en dat diep leren bij de leerlingen bereikt kan worden. Het onderzoek wordt afgerond met enkele aanbevelingen waaraan een toekomstig virtueel practicum moet voldoen en waar verbeteringen binnen ons eigen practicum mogelijk zijn.

Trefwoorden: virtueel practicum, diep leren, cognitive load theory, SOLO taxonomie, misconcepten, micro- en macroniveau.

Inleiding en aanleiding

Het afgelopen jaar zijn de scholen gedurende meerdere perioden (gedeeltelijk) gesloten geweest en hebben veel onderwijsactiviteiten online plaatsgevonden. Leerlingen zaten gedeeltelijk thuis, docenten zaten gedeeltelijk thuis en vanuit die situatie moest door docenten op afstand en gebruikmakend van de huidige digitale middelen zo goed mogelijk les gegeven worden om de leerdoelen bij de leerlingen te bereiken.

Het uitvoeren van een practicum behoort echter niet tot de mogelijkheden, omdat dit simpelweg niet mogelijk is op afstand vanwege van ontbreken van begeleiding en omdat leerlingen thuis vaak niet de materialen (objecten, stoffen, etc.) hebben om het practicum uitvoeren.

Omdat het uitvoeren van een practicum op de gebruikelijke manier niet voor de hand ligt, kan wellicht wel gebruik gemaakt worden van een virtueel practicum. Een virtueel practicum is identiek aan een practicum ware het niet dat een virtueel practicum niet plaatsvindt in een laboratorium met fysieke voorwerpen, maar digitaal plaatsvindt in een virtueel lab (virtueel laboratorium) met een computerprogramma en/of op een website. Het virtueel practicum geeft een nauwkeurige en waarheidsgetrouwe weergave van de natuurwetenschappelijke elementen van dat practicum. Het virtueel practicum kan onder bepaalde omstandigheden een alternatief zijn voor een practicum. Er kunnen hierbij zowel voordelen als nadelen bedacht worden. Tot de voordelen behoren: het is veilig, het is goedkoop, het is altijd en overal inzetbaar (losgekoppeld van een specifiek tijdstip), het kan eindeloos herhaald worden. Tot de nadelen behoren: het is niet tastbaar, niet fysiek, vaardigheden zoals het werken met glaswerk worden niet of beperkt getraind. Een synoniem voor virtueel practicum is online practicum, waarbij je zou kunnen aantekenen dat een virtueel practicum niet persé *online* hoeft plaats te vinden. Dit in tegenstelling tot een online practicum dat vanzelfsprekend *online* plaatsvindt.

Bij het vak EMS30 (vakdidaktiek scheikunde) is tijdens de eerste lockdown lesmateriaal ontworpen voor een virtueel practicum over chemische evenwichten. Dit practicum richtte zich op havo 4-leerlingen en is in april 2020 gedeeld met enkele docenten scheikunde van school X. Zij waren enthousiast over dit virtueel practicum en overwogen destijds om het in te zetten bij vwo leerlingen. In het examenprogramma van het vwo neemt het concept chemische evenwichten echter een veel belangrijke plaats in dan op de havo. Het zou daarom ook een logische stap zijn om ook specifiek voor vwo 5 een virtueel practicum over chemische evenwichten te ontwikkelen.

Chemisch evenwicht is op het vwo een belangrijk, fundamenteel scheikunde concept dat nodig is om bij andere scheikunde concepten, zoals oplosbaarheid van stoffen, zuur-basechemie en redox-chemie een koppeling te maken tussen het micro- en macroniveau.

Omdat chemisch evenwicht binnen het scheikunde onderwijs zo'n belangrijk concept is waarvan het begrip noodzakelijk is voor andere concepten, is het belangrijk dat leerlingen dit concept goed doorgronden en dat ze weten wat op macro- én microniveau gebeurt bij chemisch evenwicht. Daarnaast moeten de leerlingen het concept ook nog in de juiste formuletaal kunnen weergeven: het symbolische niveau. Het goed doorgronden van dit concept zal verbeteren wanneer leerlingen bij bestuderen van deze stof en oefenen met deze stof leeractiviteiten gebruiken die samenvallen met diep leren en wanneer oppervlakkige leeractiviteiten achterwege blijven.

In dit onderzoek gaan we vaststellen of we een virtueel practicum kunnen inzetten bij dit concept chemisch evenwicht om te komen tot diep leren. Meer specifiek: we gaan de vraag beantwoorden of bij leerlingen van vwo 5 diep leren plaatsvindt bij het uitvoeren van een virtueel practicum chemisch evenwicht.

Theoretisch kader

Onderstaand geven we een overzicht van het theoretische kader van ons onderzoek. We beginnen met een definitie van diep leren. Vervolgens koppelen we diep leren aan het vak scheikunde en het daarbij behorende micro-, macro- en symbolische niveau.

Daarna gaan we verder met het bespreken van practica in relatie tot scheikunde, en een analytisch raamwerk om de effectiviteit van een practicum te beschouwen. Daaropvolgend zullen we gedetailleerd naar een specifiek soort practicum gaan kijken, namelijk een virtueel practicum.

Definitie diep leren en relatie met scheikunde en micro- en macroniveau

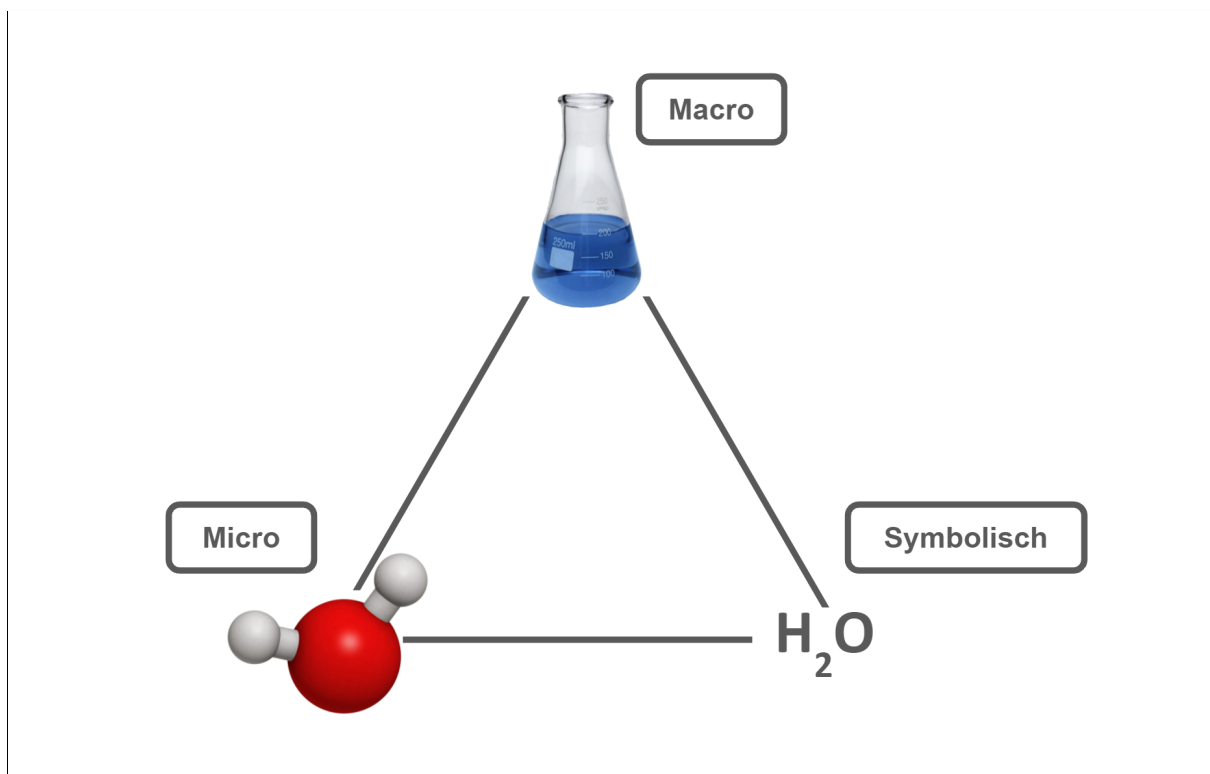
Onze definitie van diep leren komt erg overeen met de definitie die is opgetekend in de literatuur (Novak, 2002). Diep leren ontstaat wanneer leerlingen teruggrijpen op de kennis die zij al vergaard hebben en deze in nieuwe situatie weten toe te passen.

Voor de scheikunde betekent dit dat een leerling bij diep leren een fundamentele, beter begrip van concepten krijgt, verbanden kan leggen tussen concepten en de verworven kennis bij nieuwe situaties opnieuw kan toepassen en aanscherpen.

Bij scheikunde zijn drie niveaus altijd van belang: 1) het microniveau, 2) het macroniveau en 3) het symbolische niveau. Deze niveaus zullen we hier definiëren:

Bij scheikunde wordt met microniveau alle concepten op het niveau van de deeltjes (atomen, ionen, moleculen) van de stoffen bedoeld, zoals bouw van de deeltjes en inter- en intra-moleculaire interacties. Met macroniveau worden alle concepten bedoeld die we kunnen waarnemen. Voorbeelden hiervan zijn de eigenschappen van stoffen en mengsels, zoals kleur, dichtheid en kookpunt. Het symbolische niveau is hoe we bij scheikunde de concepten weergeven in formuletaal.

Gecombineerd kunnen deze 3 niveaus dienen om een concept te beschrijven. De niveaus vullen elkaar aan en benaderen de concepten vanuit verschillende perspectieven. Doorgaans wordt bij scheikunde gebruik gemaakt van een combinatie van deze niveaus. Deze niveaus zijn aan elkaar gekoppeld en weer te geven in wat de scheikunde driehoek (chemistry triplet) wordt genoemd (Johnstone, 1991 en Taber, 2013). In onderstaande Fig. 1 zijn deze niveaus weergegeven, samen met water als voorbeeld.



Figuur 1: Scheikunde driehoek (naar Taber, 2013)

Bij het vak scheikunde is het van belang dat de concepten die leerlingen moeten leren zowel op macro- als op microniveau begrepen worden en dat de leerlingen deze twee niveaus ook aan elkaar kunnen koppelen (Talanquer, 2011). Leerlingen moeten de vertaalslag kunnen maken van microniveau naar macroniveau en vice versa. Het begrip van de concepten en de koppeling van die concepten aan het micro- en het macroniveau zullen doorgaans door de leerlingen niet bereikt kunnen worden wanneer ze gebruik maken van oppervlakkige leeractiviteiten. Ze zullen activiteiten moeten doen die samenvallen met diep leren om een fundamenteeler, beter begrip te krijgen van de concepten om die concepten vervolgens als ideeën te kunnen gebruiken bij nieuwe situaties. Andersom zou je ook kunnen stellen dat een leerling die een koppeling kan maken tussen het micro- en macroniveau diep geleerd heeft.

Naast het kunnen denken in microniveau en het macroniveau, moeten de leerlingen dit ook correct kunnen weergeven in het symbolische niveau. Vanuit het symbolische niveau moeten de leerlingen de vertaalslag kunnen maken naar zowel het microniveau als het macroniveau en vice versa. Zo ontstaat dus het raamwerk van Fig. 1 waarbinnen leerlingen moeten kunnen redeneren. Je kunt zeggen dat scheikunde onderwijs doorgaans plaatsvindt binnen de scheikunde driehoek en dat leerlingen voortdurend moeten wisselen tussen de niveaus op de hoekpunten en voortdurend de koppeling moeten maken tussen de niveaus op de hoekpunten (Taber, 2013). Het wisselen tussen de niveaus en de koppeling maken tussen de niveaus lijkt het ontwikkelen van conceptueel begrip te ondersteunen (Gilbert & Treagust, 2009; Gabel, 1999). Bij het wisselen tussen deze niveaus zijn cognitieve processen nodig (Irby, Borda & Haupt, 2018). Bij het behandelen van concepten in het scheikunde onderwijs zullen steeds minimaal 2 van de 3 niveaus van de scheikunde driehoek besproken worden.

Wanneer de leerling niet in staat is om de juiste koppeling te maken tussen microniveau en macroniveau (en symbolisch niveau) bij een bepaald concept, dan kunnen bij dit concept

misconcepten ontstaan. Misconcepten zijn ideeën, theorieën en gedachten van leerlingen waarvan zij denken dat ze waar zijn en in overeenstemming zijn met de werkelijkheid, maar waar in wezen foute ideeën bij de leerlingen ontstaan zijn. Ideeën die dus niet kloppen met de theorie en met de werkelijkheid.

Misconcepten

Zoals gesteld in de inleiding blijkt chemisch evenwicht een moeilijk concept te zijn voor leerlingen, waarbij veel misconcepten kunnen ontstaan (Karpudewan et al 2015). Chemisch evenwicht is een fundamenteel scheikundig concept dat een specifieke situatie beschrijft van een reactie die in beide richtingen verloopt; we noemen dit de heengaande en de teruggaande reactie. Bij chemisch evenwicht zijn de reactiesnelheden van de heengaande en teruggaande reactie aan elkaar gelijk. Gevolg hiervan is dat de concentraties van de stoffen die deelnemen aan deze reacties niet (meer) veranderen. De vormingssnelheid van iedere stof is namelijk gelijk geworden aan de snelheid waarmee deze stof wegreaageert. Het concept chemisch evenwicht is een belangrijk concept om andere concepten van de scheikunde te begrijpen, zoals oplosbaarheid van stoffen, zuur-basechemie en redox-chemie. Een belangrijk verschijnsel bij chemisch evenwicht is het principe van Le Chatelier. Het principe van Le Chatelier stelt dat wanneer een verstoring wordt aangebracht aan een chemisch evenwicht één van de twee reacties tijdelijk in het voordeel zal zijn, waarbij één van de twee reactiesnelheden dan tijdelijk hoger zal liggen en waardoor de verstoring wordt tegengewerkt en waarbij een nieuwe evenwichtstoestand zal ontstaan.

Misconcepten die onder andere ontstaan bij chemisch evenwicht zijn: 1) leerlingen raken verward tussen de hoeveelheid van de aanwezige stoffen (in mol) en de concentraties van deze stoffen (in mol/L) en vinden het moeilijk om hier aan te rekenen, 2) leerlingen doorzien niet (voldoende) dat de heengaande en de teruggaande reacties tegelijkertijd plaatsvinden en doorgronden niet wat zal gebeuren bij toevoegen van één van de betrokken stoffen, 3) leerlingen misinterpreteren de evenwichtsconstante K en hebben incorrecte ideeën over de variabiliteit hiervan en 4) leerlingen kunnen het principe van Le Chatelier niet correct toepassen en/of begrijpen het principe van Le Chatelier niet of onvoldoende (Barke, 2009).

Een manier om misconcepten weg te nemen, is door leerlingen zelf te laten ontdekken dat wat ze denken dat waar is niet waar kan zijn. Je moet daarvoor leeractiviteiten aanbieden die ervoor zorgen dat leerlingen inzien dat hun ideeën niet kloppen en dat ze actief gaan nadenken over wat dan wel kloppende ideeën zijn. Een mogelijke leeractiviteit die ingezet kan worden om dit te bereiken zijn practica, omdat de leerlingen hierbij gegevens genereren die alleen te verklaren zijn met kloppende, correcte concepten. Wanneer ze de verkregen data gaan proberen te verklaren met hun bestaande ideeën (misconcepten) zullen ze tot de ontdekking komen dat deze ideeën niet kloppen en zullen ze met nieuwe ideeën moeten komen die wel kloppen. Zo kunnen bestaande misconcepten omgezet worden in de juiste concepten (Barke, 2009).

In de volgende sectie gaan we dieper in op practica en scheikunde.

Practicum en scheikunde

Het vakgebied scheikunde heeft zijn oorsprong in het doen van experimenten. Vanuit nieuwsgierigheid en de wil om dingen beter te begrijpen zijn eeuwenlang experimenten uitgevoerd. Bij die experimenten waren dan vervolgens waarnemingen die niet altijd te begrijpen waren met de kennis van dat moment. Men ging proberen om theorieën op te stellen om de waarnemingen te verklaren. Zo is beetje bij beetje een steeds beter begrip geconstrueerd van wat op microniveau met de deeltjes plaatsvindt en wat dan op macroniveau waargenomen wordt. En iedere keer als er weer een nieuw stukje theorie was, werd dat weer vertaald in nieuwe experimenten om de theorie te bevestigen of om inzichten te krijgen dat de theorie aangepast of uitgebreid moest worden.

Door al die experimenten en de constante verbetering van de theoretische inzichten is het vak scheikunde aanbeland waar we nu zijn. En nog steeds is het vakgebied in ontwikkeling, worden theorieën aangepast en worden nieuwe experimenten uitgevoerd. Dit zal ook blijven voortduren, omdat immers steeds weer nieuwe stoffen en materialen uitgevonden zullen worden.

Zonder de experimenten van de afgelopen eeuwen en het werk van alle betrokken wetenschappers, geleerden en uitvinders die wilden begrijpen wat ze zagen, zouden we dus nu niet de huidige kennis van scheikunde hebben.

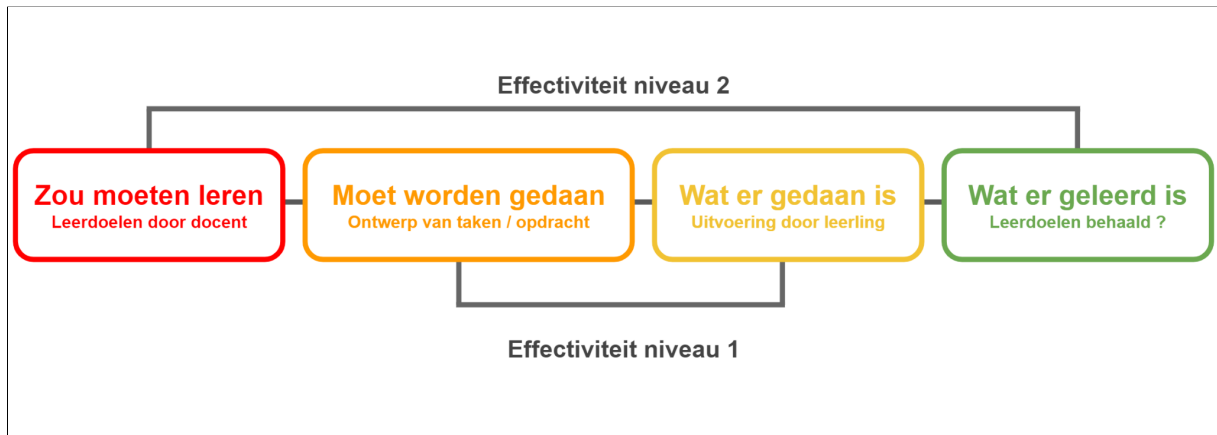
Ook bij het schoolvak op de middelbare school wordt het doen van experimenten nog steeds als belangrijk en waardevol gezien. Het doen van experimenten bij het schoolvak scheikunde noemen we het uitvoeren van een practicum. Een practicum (meervoud: practica) is een praktische leeractiviteit waarbij leerlingen een opdracht uitvoeren waarmee vaardigheden ontwikkeld worden, leerstof geleerd wordt en/of een beter begrip van de leerstof wordt ontwikkeld.

Omdat het doen van experimenten bij scheikunde zo'n wezenlijk onderdeel is, is het uitvoeren van practica en daarvan verslag doen ook een eindterm van het vak scheikunde voor leerlingen. Zo staat in de syllabus centraal examen 2021, scheikunde vwo (2020): "De kandidaat kan [...] een onderzoeks- of een ontwerpopdracht formuleren, die uitvoeren en daarvan verslag doen."

Practica worden in het vak scheikunde dus ingezet om enerzijds praktische vaardigheden te ontwikkelen bij leerlingen en anderzijds om de leerstof op een andere manier aan te bieden met als doel dat de leerstof beter geleerd wordt en dat het begrip van die leerstof ontwikkeld wordt. Daar zit de hoop en gedachte in dat door het doen van practica eerder sprake zal zijn van diep leren. Dat de activiteiten die plaatsvinden bij het uitvoeren van een practicum stimuleren om diep lerend bezig te zijn en dus niet oppervlakkig lerend bezig te zijn. De gedachte is dat leerlingen de handelingen van het practicum en de waarnemingen die daarop volgen gaan koppelen aan kennis die ze eerder hebben vergaard en dat ze deze kennis in deze nieuwe situatie van het practicum weten toe te passen.

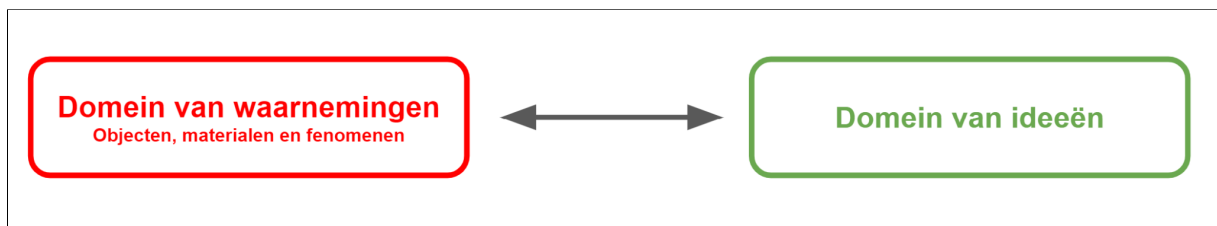
Veel docenten geloven ook dat practica ertoe leiden dat leerlingen beter leren. Er wordt namelijk gedacht dat wanneer je iets zelf doet, je het dan ook beter begrijpt en beter kunt onthouden. Aan de andere kant is het echter ook zo dat veel docenten merken dat de leerdoelen die de docenten bedenken bij een practicum lang niet altijd bereikt worden (Millar, 2009). Het is namelijk zo dat practica doorgaans goed zijn om leerlingen de juiste handelingen te laten uitvoeren met de materialen, stoffen, objecten, etc. , maar dat de practica doorgaans niet het resultaat hebben dat leerlingen de juiste theorieën, ideeën en inzichten gaan gebruiken. Tevens reflecteren de leerlingen doorgaans niet of niet goed op de data en resultaten die uit het practicum komen (Abrahams & Millar, 2008)

Als we wat gedetailleerder kijken naar het ontwerp en de evaluatie van een practicum dan kunnen we het volgende model gebruiken (Abraham & Millar, 2008):



Figuur 2: Model van het proces van ontwerp en evaluatie van een practicum (Abraham & Millar, 2008)

Verder kunnen we ook nog vaststellen dat bij een practicum twee domeinen samen komen. Zoals eerder gesteld hebben we het microniveau (wat vindt plaats met de deeltjes) en het macroniveau (wat nemen we waar). Bij een practicum vertaald dat zich in het volgende model (Tiberghien, 2000):



Figuur 3: Model van het koppelen van twee domeinen van kennis bij een practicum (Tiberghien, 2000)

Bovenstaande 2 modellen uit Fig. 2+ Fig. 3 kunnen gecombineerd worden in een matrix waarbij de effectiviteitsniveaus 1 en 2 aan de ene kant vergeleken worden met de twee domeinen van waarnemingen (w) en van ideeën (i) aan de andere kant. Dit leidt tot het volgende model van de effectiviteit van een practicum (Abraham & Millar, 2008):

| Effectiviteit | Domein van waarnemingen (w) | Domein van ideeën (i) |
|---|--|---|
| Een praktische opdracht is effectief op niveau 1 (het niveau van doen) als | ... de leerlingen doen met de objecten en materialen wat de docent heeft bedacht en ze resultaten krijgen zoals bedoeld door de docent | ... de leerlingen terwijl ze de taak uitvoeren, nadenken over hun acties en waarnemingen gebruikmakend van de ideeën die de docent voor hen bedacht heeft om te gebruiken |
| Een praktische opdracht is effectief op niveau 2 (het niveau van leren) als | ... de leerlingen zich later kunnen herinneren wat ze hebben gedaan met de objecten of materialen, wat ze hebben waargenomen bij het uitvoeren en wat de belangrijke data was die verkregen is | ... de leerlingen later begrip en inzicht kunnen vertonen van de ideeën waarvoor de praktische opdracht ontworpen is om te helpen met leren |

Figuur 4: Analytisch raamwerk om de effectiviteit van een practicum te beschouwen (Abraham & Millar, 2008)

Bovenstaande theorie is ontwikkeld voor een practicum dat fysiek door leerlingen wordt uitgevoerd in een practicumzaal op school.

Het bovengenoemde raamwerk (Fig. 4) om de effectiviteit van een practicum te beschouwen kan dan gebruikt worden om de effectiviteit van het virtueel practicum te onderzoeken. De insteek hierbij is dat wanneer de opdracht die bij het virtueel practicum hoort leidt tot effectiviteit op niveau 1 en niveau 2 bij de domeinen van waarnemingen (w) en ideeën (i) dat dan ook sprake is van diep leren. De handelingen die worden uitgevoerd en de waarnemingen die plaatsvinden en data die verzameld worden, worden dan namelijk gekoppeld aan ideeën (concepten) van de scheikunde die met dit practicum ontwikkeld moeten worden bij de leerlingen.

Wanneer diep leren dan vervolgens plaatsvindt bij het uitvoeren van de opdrachten bij het virtueel practicum, zullen mogelijke misconcepten die vooraf bij de leerlingen bestaan weggenomen worden. Wanneer het virtueel practicum effectief is en de leerlingen dus de juiste ideeën gaan koppelen aan de data en waarnemingen die ze verkrijgen bij het practicum dan kunnen de aanwezige misconcepten niet behouden blijven, want de misconcepten zullen niet verenigbaar zijn met de waarnemingen en de data die uit het virtueel practicum volgen.

Wanneer je het genoemde raamwerk om de effectiviteit van een practicum te beschouwen één op één overneemt voor het virtueel practicum en verder geen aanpassingen maakt in het ontwerp van het practicum, ga je voorbij aan de verschillen tussen een practicum en een virtueel practicum.

Het wezenlijke verschil is dat je bij een practicum fysiek bezig bent met objecten en materialen in een fysiek (practicum)lokaal of laboratorium en dat je bij een virtueel practicum achter de computer plaatsneemt (in een virtueel lab) en alleen bezig bent met muis en toetsenbord. Weliswaar zie je dezelfde verschijnselen optreden bij een practicum en bij het corresponderende virtueel practicum (de waarnemingen zijn hetzelfde) en krijg je dezelfde data uit beide practica, maar de handelingen zijn wezenlijk verschillend (het doen). Deze verschillen zul je in rekening moeten brengen wanneer je over de effectiviteit van een virtueel practicum gaat praten.

Virtueel practicum

Stockroom +

Information ☰

Name: 1M CoCl₂
Volume: 10.000 mL

| Species (aq) | Molarity |
|---|------------|
| H ⁺ | 9.84368e-8 |
| OH ⁻ | 9.84368e-8 |
| Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0.966539 |
| Cl ⁻ | 1.86616 |
| CoCl ₄ ²⁻ | 0.0334612 |

Temperature: 25.00°C
25.0 deg

pH: 7.01

Workbench 1

kobalt(II)opl. zonder chloride-ionen
40.000 mL @ 25.0°C

1M CoCl₂
10.000 mL @ 25.0°C

H₂O
40.000 mL @ 25.0°C

6M AgNO₃
70.000 mL @ 25.0°C

12M HCl
40.000 mL @ 25.0°C

1.0 kJ/s

#1: 0 mL HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#2: 10 mL HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#3: 20 mL HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#4: 30 mL HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

Figuur 5: Screenshot van een virtueel practicum van ChemCollective (ChemCollective.org)

Bij een virtueel practicum vinden alle handelingen plaats achter de computer met de muis of met het toetsenbord. Een gevaar dat schuilt in een virtueel practicum is dat het als het ware een knoppentraining wordt: de leerlingen krijgen een stappenplan, de leerlingen volgen het stappenplan correct op met de juiste handelingen van muis en toetsenbord en vervolgens blijft het daarbij. Het enige dat dan vast te stellen is, is dat de leerlingen een instructie kunnen opvolgen. Het zegt dan niets over het leren van een concept. Het enige dat dan gebeurt, is dat er oppervlakkig gebruik gemaakt wordt van het virtueel practicum. De leerdoelen die bereikt moeten worden met het practicum zullen dan niet bereikt worden. Aan de andere kant is het natuurlijk wel een vereiste dat de leerlingen de juiste handelingen en knoppen kennen. Wat bij een virtueel practicum allereerst nodig is om tot diep leren te komen, is dat eerst vertrouwen moet ontstaan met het virtueel practicum (knoppentraining), voordat de leerlingen diep leren kunnen vertonen bij het virtueel practicum (Moore, Herzog & Perkins, 2013).

Bij het ontwerp van een opdracht bij een virtueel practicum zul je dus moeten beginnen met opdrachten die als doel hebben om vertrouwen te krijgen met het virtueel practicum en het leren van de handelingen en knoppen die erbij horen. Daarna moet je opdrachten aanbieden die tot doel stellen om de handelingen en daarop volgende waarnemingen te koppelen aan de juiste ideeën oftewel de juiste scheikunde concepten. Dan pas kunnen de leerlingen diep leren vertonen bij een virtueel practicum. Dan pas kunnen eventuele misconcepten weggenomen worden.

Samenvattend moeten de leerlingen dus uitgedaagd worden om de juiste handelingen uit te voeren, de juiste waarnemingen te observeren en de geobserveerde waarnemingen correct te koppelen aan de juiste concepten/ideeën. De opdrachten en bijbehorende vragen moeten dit stimuleren.

Naast het simpele gegeven dat leerlingen de handelingen bij een virtueel practicum anders uitvoeren dan bij een practicum, namelijk met muis/toetsenbord in plaats van met de handen, is er nog een ander aspect waar rekening mee gehouden moet worden. Uit de literatuur is bekend dat multimedia leeromgevingen (waartoe een virtueel practicum ook behoort) een ander effect hebben op het brein,

iets anders vereisen van het brein, dan een normale, traditionele leeromgeving op school (waartoe een practicum behoort). Dit wordt uitgewerkt in de cognitive load theory (Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019)

Cognitive load theory

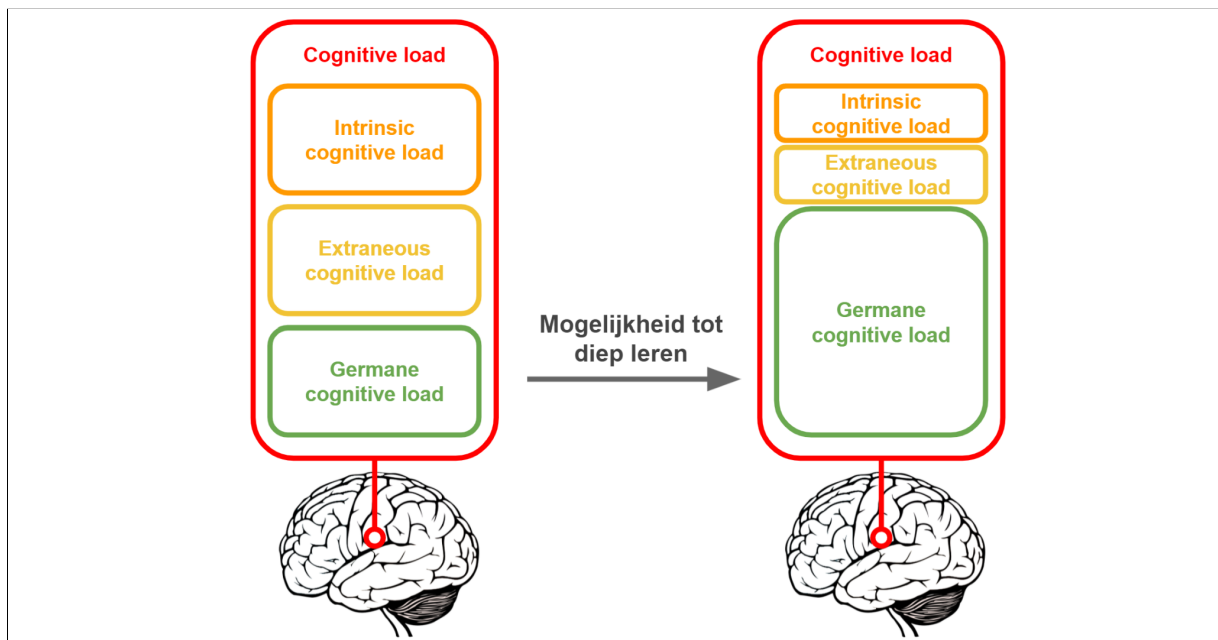
Zoals hierboven gesteld, vereisen multimedia leeromgevingen, waaronder een virtueel practicum, meer van het brein. Dergelijke activiteiten kunnen daarmee dermate veel van het brein vereisen, waardoor geen ruimte meer overblijft om de opdracht adequaat cognitief te verwerken, om diep leren te laten plaatsvinden en om de waarnemingen en de data dus te koppelen aan de juiste ideeën. Bij het ontwerp van opdrachten voor een virtueel practicum moet dus speciale aandacht uitgaan om te voorkomen dat teveel gevraagd wordt van het brein. De mate waarin beslag gelegd wordt op het brein noem je cognitive load. Daarbij is het belangrijk om onderscheid te maken tussen 3 typen cognitive load (Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019).

Deze 3 typen cognitive load zijn *intrinsic*, *extraneous* en *germane* cognitive load. Intrinsic cognitive load wordt veroorzaakt door de complexiteit van de opdracht. Extraneous cognitive load zorgt ervoor dat onnodig veel gevraagd wordt van de leerling en wordt veroorzaakt door slecht ontworpen lesmateriaal en complexiteit van de leeromgeving. De cognitive load die overblijft na intrinsic en extraneous is germane cognitive load en deze is effectief in het realiseren van (diep) leren.

Dit leidt vervolgens tot drie categorieën om diep leren te bevorderen (Mayer, 2014a), namelijk:

- 1) Verminderen van extraneous processing (verlagen van extraneous cognitive load)
- 2) Bevorderen essentiële processen (verlagen intrinsic cognitive load)
- 3) Fostering generative processing (germane cognitive load bevorderen)

Bovenstaande drie categorieën zijn schematisch weergegeven in Fig. 6.

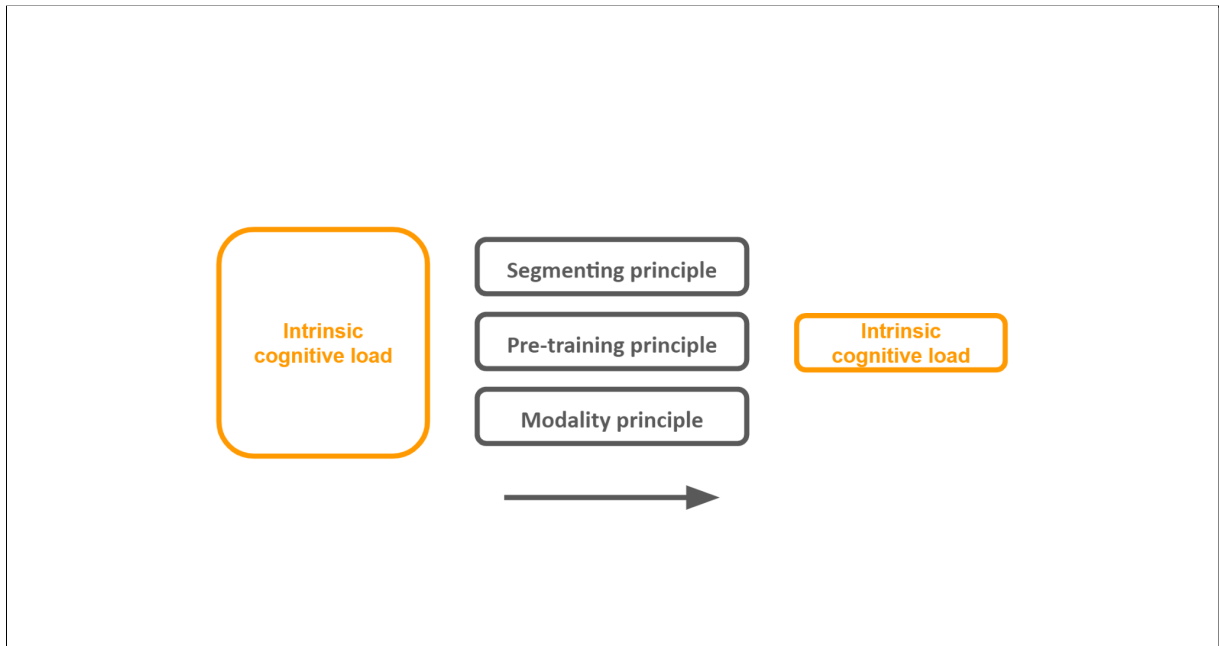


Figuur 6: Bevorderen van diep leren en samenhang met germane cognitive load (naar Mayer, 2014a)

Studies naar multimedia learning stellen verschillende principes voor om het leerproces te bevorderen (Butcher, 2014; De Jong & Lazonder, 2014; Leutner & Schmeck, 2014; Mayer, 2014a,b,c;

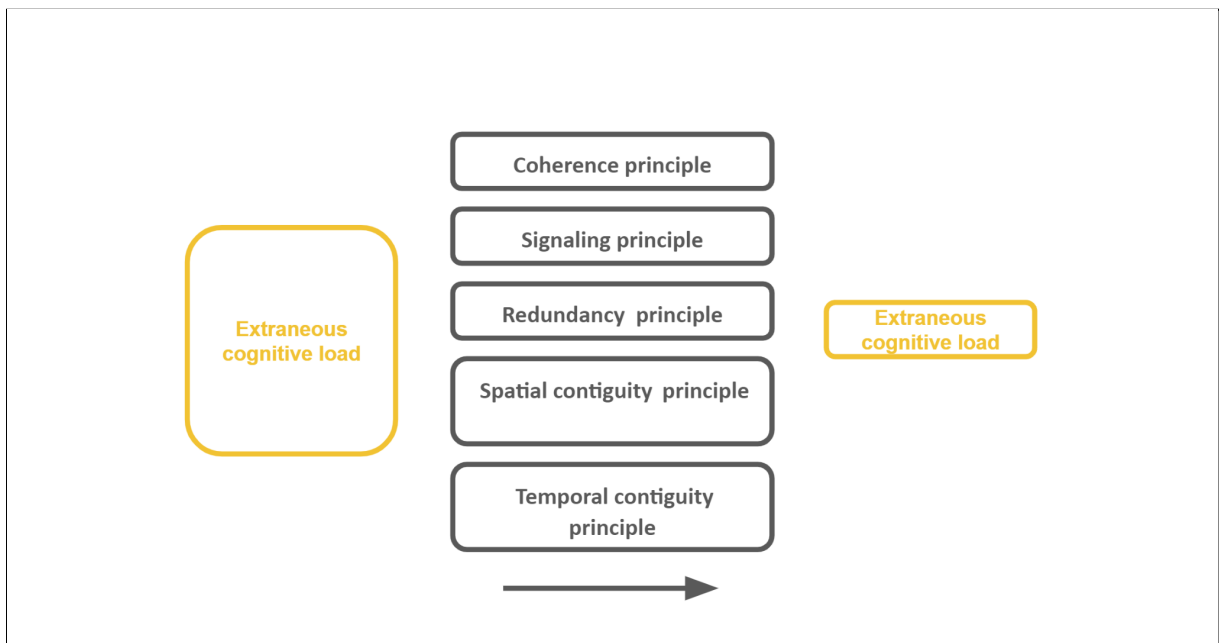
Mayer & Fiorella, 2014; Mayer & Pilegard, 2014; Wylie & Chi, 2014). Deze principes zijn onder te verdelen in bovengenoemde drie categorieën.

Principes van de categorie van bevorderen essentiële processen genoemd in literatuur zijn:



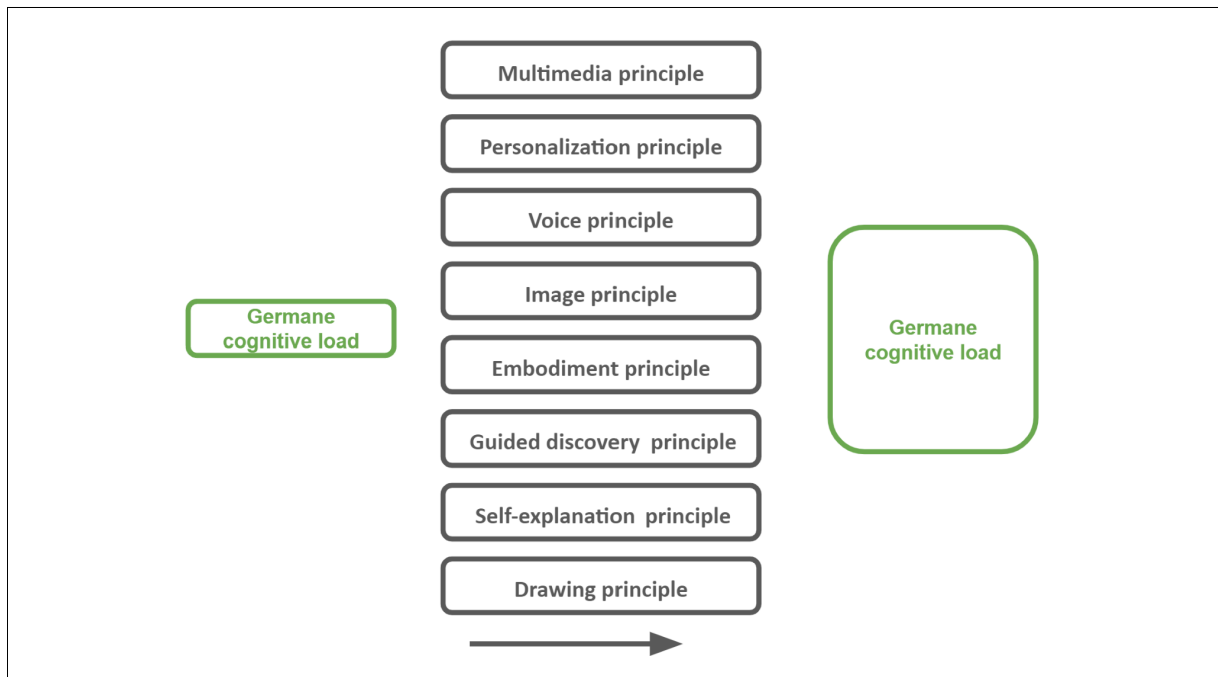
Figuur 7: Intrinsic cognitive load verminderen (naar Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019)

Principes behorende bij de categorie van verminderen van extraneous processing die genoemd worden in de literatuur, zijn:



Figuur 8: Extraneous cognitive load verminderen (naar Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019)

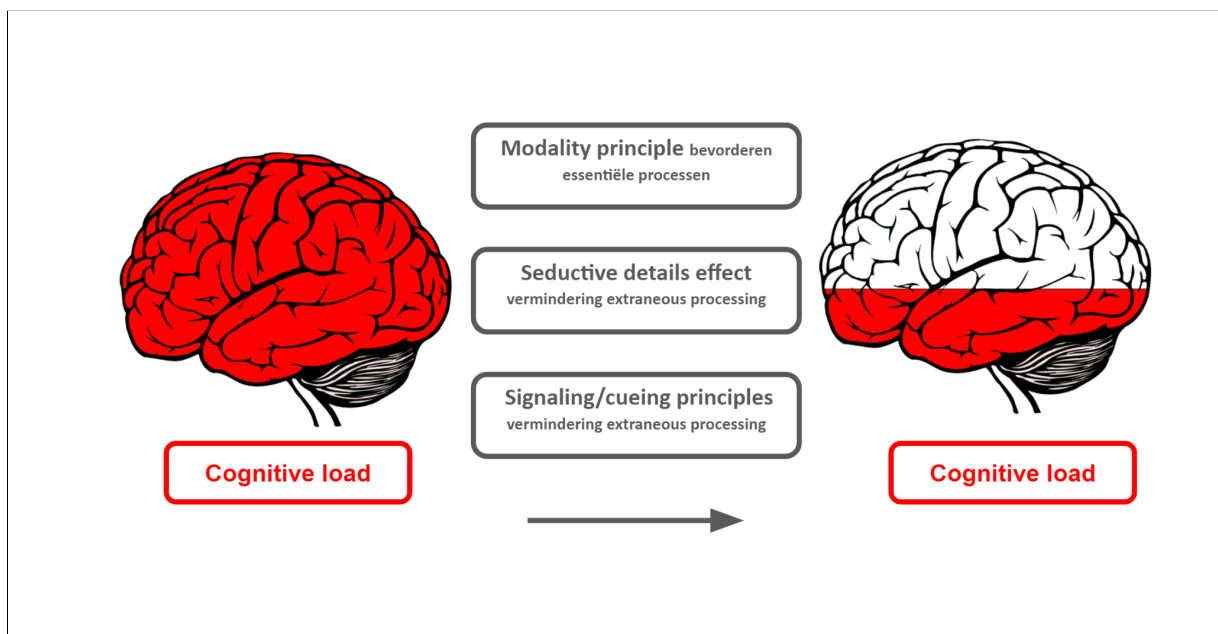
Principes bij de categorie van fostering generative processing die genoemd worden, zijn:



Figuur 9: Germane cognitive load vermeerderen (naar Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019)

In literatuur worden drie principes het vaakst onderzocht wanneer het gaat over cognitive load theory en het bevorderen van het leren bij multimedia leeromgevingen, namelijk (Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019)

- Modality principle (behorend bij de categorie van bevorderen essentiële processen)
- Seductive details effect (behorend bij verminderen van extraneous processing)
- Signaling/cueing principles (behorend bij verminderen van extraneous processing)



Figuur 10: Principes om cognitive load te verminderen (naar Mutlu-Bayraktar, Cosgun & Altan, 2019)

Wanneer de gevraagde capaciteit verminderd wordt, blijft er meer capaciteit van het brein over om te komen tot diep leren. In de literatuur wordt dit diep leren beschreven als *fostering generative processing*.

Bovengenoemde drie principes zullen we hieronder in meer detail uitwerken.

Modality principle

Dit principe behoort bij de categorie van bevorderen van essentiële processen. Dit principe beschrijft dat wanneer beeld en *gesproken* tekst gecombineerd wordt er minder aanspraak op het brein zal worden gemaakt dan wanneer beeld en *geschreven* tekst gecombineerd wordt. Dit is een relatief eenvoudige manier om de cognitive load te verlagen en daarmee de mogelijkheid tot diep leren te vergroten. Dit principe zorgt voor wat in de literatuur *managing essential processing* wordt genoemd. Met deze aanpak verminder je de benodigde capaciteit van de intrinsic cognitive load. Hierdoor is er meer capaciteit beschikbaar voor germane cognitive load.

Seductive details effect (behorend bij coherence principle)

Het *seductive details effect* hoort bij het *coherence principle* van de categorie van verminderen van extraneous cognitive load. Dit effect beschrijft dat het opnemen van irrelevante informatie leidt tot verminderd begrip van de aangeboden informatie. Het opnemen van irrelevante informatie vergroot namelijk de extraneous cognitive load. Het *seductive details effect* verwijst naar de neiging of behoefte om lesmateriaal op te willen leuken dan wel interessanter te willen maken met “verleidelijke” informatie; gevolg hiervan is dan echter verminderd begrip van de aangeboden informatie en daarmee dus een ongewild, negatief effect op het leren. Samen met het *modality principle* wordt dit *seductive details effect* het vaakst genoemd in de literatuur om de cognitive load te beperken.

Signaling/cueing principles

Deze *signaling/cueing principles* hebben te maken met in hoeverre leerlingen geholpen worden in het leerproces met behulp van signalen en aanwijzingen in de informatie, bijvoorbeeld gidswoorden, arceringen, etc. Dit zijn signalen die *geen nieuwe* informatie toevoegen, maar bepaalde informatie benadrukken of extra aandacht geven. Wanneer leerlingen geholpen worden met signalen/aanwijzingen, dan verminderd de extraneous cognitive load. Ook hierbij zal dan meer capaciteit overblijven om de germane cognitive load te benutten.

Ontwerp van multimediaal lesmateriaal

Bij het ontwerp van de opdrachten bij het virtueel practicum moet dus rekening gehouden worden met de cognitive load om te komen tot een effectief virtueel practicum.

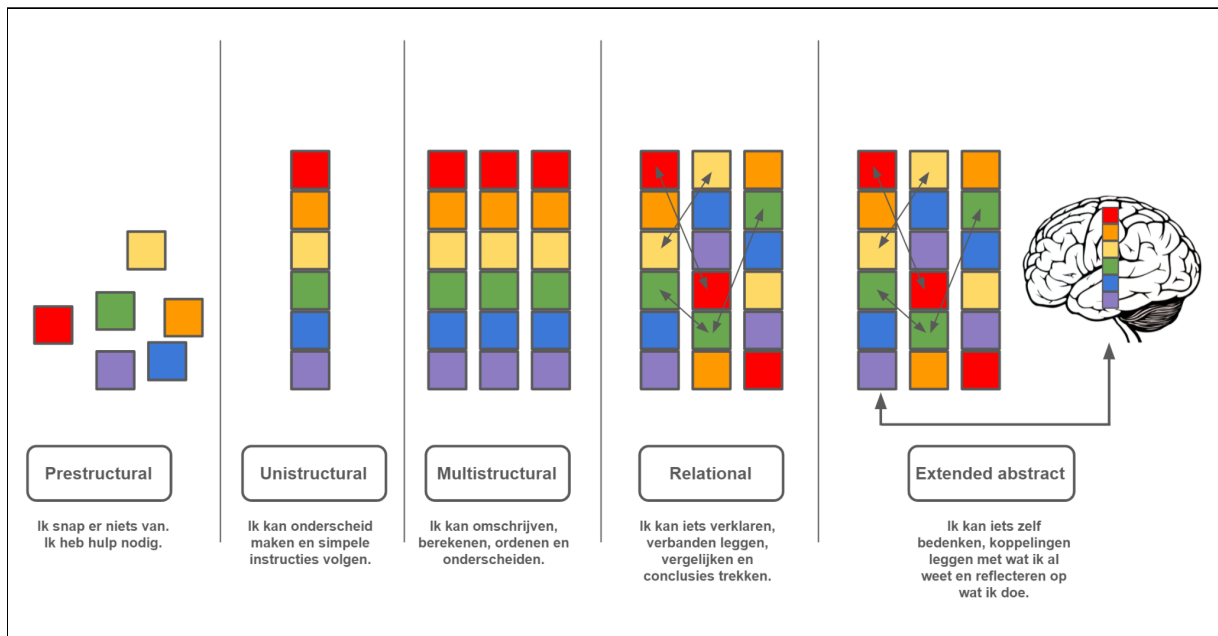
Wanneer we vervolgens de opdrachten voor het virtueel practicum zodanig hebben ontworpen om enerzijds voldoende vertrouwen bij de leerlingen met het virtueel practicum te ontwikkelen en anderzijds te komen tot diep leren met de vervolgoopdrachten waarbij tevens steeds voorkomen wordt dat de cognitive load te hoog is bij het uitvoeren van al deze opdrachten, dan is het vervolgens zaak om vast te stellen dat daadwerkelijk diep leren heeft plaatsgevonden bij de leerlingen bij het uitvoeren van dit virtueel practicum.

Bij het vaststellen of daadwerkelijk diep leren heeft plaatsgevonden, gaan we gebruik maken van een taxonomie, namelijk SOLO.

SOLO taxonomie

De Structure of Observed Learning Outcome (SOLO) is een taxonomie waarmee beoordeeld kan worden in hoeverre leerlingen verbanden kunnen leggen tussen concepten. (Biggs, 1979; Hodges & Harvey, 2003). De SOLO-taxonomie focust op de structuur van een antwoord, om daarmee te bepalen hoe de structurele organisatie van kennis bij een leerling is. De vijf niveaus die onderscheiden worden, zijn (Biggs, 1979):

- 1) Prestructural: het antwoord heeft geen logisch verband; er is niets belangrijks geleerd.
- 2) Unistruktural: het antwoord bevat één relevant aspect van het domein.
- 3) Multistruktural: het antwoord bevat meerdere relevante onderdelen, maar die worden niet geïntegreerd.
- 4) Relational: (bijna) alle relevante onderdelen zijn gebruikt en conflicten zijn opgelost door een gerelateerd begrip te gebruiken; het antwoord heeft een coherente structuur en betekenis.
- 5) Extended Abstract: nieuwe en meer abstracte onderdelen worden meegenomen; er wordt generaliseerd naar een nieuw domein.



Figuur 11: De vijf niveaus van de SOLO taxonomie (naar Biggs, 1979)

Door voorbeeldantwoorden te definiëren bij de vragen van een leerlingopdracht en deze voorbeeldantwoorden in te delen in bovenstaande 5 niveaus van SOLO, kun je vervolgens antwoorden gegeven door leerlingen ook koppelen aan deze niveaus van SOLO. Van iedere leerling kun je dan vaststellen op niveau de leerling antwoord geeft en op welk niveau de leerling dus begrip heeft van een concept.

Bij niveau 1 ontbreekt begrip, niveau 2 en 3 geven blijk van oppervlakkig begrip, terwijl niveau 4 en 5 diep begrip tonen (Biggs, 1979).

Onderzoeksvragen

In dit onderzoek gaan we de vraag beantwoorden of bij leerlingen van vwo 5 diep leren plaatsvindt bij het uitvoeren van een virtueel practicum chemisch evenwicht.

Dit brengt ons tot de hoofdvraag van ons onderzoek:

“Vindt bij leerlingen van vwo 5 diep leren plaats bij het uitvoeren van een practicum chemisch evenwicht in het virtueel lab van ChemCollective?”

Deelvragen

1. Hoe kan het micro-, macro-denken worden gestimuleerd in een virtueel lab voor chemische evenwichten?
2. Welke misconcepties met betrekking tot het concept chemisch evenwicht kunnen worden aangepakt in een virtueel lab?
3. Op welke manier kan de extraneous cognitive load van het virtueel lab worden geminimaliseerd?

Het virtueel practicum dat we gebruiken in ons onderzoek is het “Virtual lab: cobalt chloride and LeChatelier’s Principle” van The ChemCollective. Dit virtueel lab is ontworpen rondom het concept chemisch evenwicht en bevat voor de leerlingen alle practicummaterialen (bekerglazen, erlenmeyers, pipetten, chemicaliën etc.) om het principe van Le Chatelier te onderzoeken.

Deelvraag 1 t/m 3 zullen worden beantwoord door middel van literatuuronderzoek. Daarna zal op basis van de resultaten van dit onderzoek het bestaande lesmateriaal voor havo 4 worden herschreven voor vwo 5. Dit nieuwe lesmateriaal zal worden voorgelegd aan scheikundedocenten voor feedback. Na verwerking van de feedback zal het practicum door de docenten worden ingezet in 5 verschillende vwo 5-klassen. De ingeleverde antwoorden van de leerlingen zullen daarna door de docenten worden geanonimiseerd. Deze antwoorden zullen door de onderzoekers worden geanalyseerd met behulp van de SOLO taxonomie (Hodges & Harvey, 2003) om diep leren vast te stellen en daarmee antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag.

Onderzoeksmethode

Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de methoden zoals we deze hebben ingezet tijdens ons onderzoek. We zullen aandacht besteden aan de participanten van het onderzoek, zowel de leerlingen die het practicum uitvoerden als de docenten die betrokken zijn geweest in de begeleiding van de leerlingen alsmede de feedback richting ons. Vervolgens zullen we de procedure van het onderzoek verder toelichten waarin we ingaan op de verschillende fases die we hebben doorlopen in het onderzoek zoals het opzetten van verschillende prototypen, het ontvangen van feedback, het aanscherpen van het practicum, de daadwerkelijke uitvoering ervan en het vervolgens analyseren van de onderzoeksgegevens.

Instrumenten

Binnen ons onderzoek hebben we gebruik gemaakt van de volgende onderzoeksmethoden:

1. Literatuuronderzoek
2. Feedback verzamelen door middel van gesprekken met docenten
3. Uitvoeren van de opdracht door leerlingen
4. Een analyse van de resultaten

Er zijn tijdens het onderzoek verschillende versies van het virtueel practicum ontwikkeld. Iedere versie was een verbetering van de voorgaande versie waarbij de gedane literatuurstudie steeds duidelijkere richtlijnen bood voor het opzetten van een geschikt virtueel practicum. Ook uit de feedback die wij hebben verkregen uit de gesprekken met vakdocenten kwamen punten naar voren die zijn verwerkt in de uiteindelijke versie van het virtueel practicum.

Analyse

Bij de analyse van de resultaten van de leerlingen hebben wij de SOLO taxonomie ingezet. Wij zijn begonnen met een selectie te maken van specifieke vragen waarbij een vorm van diep leren zou kunnen worden waargenomen uit de analyse van de antwoorden. Daaruit volgde dat de leerlingen vooral in de vragen 17 en 19 verbanden moeten leggen tussen de deel antwoorden (3 in totaal bij ieder vraag). Tevens kan de leerling in deze vragen terugvallen op antwoorden die hij of zij al in eerdere vragen heeft gegeven.

Elk deelantwoord kon de leerling goed of fout beantwoorden. Wij hebben daar een waarde van 2 of 0 aangehangen (0 = niet goed, 2 = goed). Maar er waren ook situaties mogelijk waarbij de leerling deelvraag 1 fout beantwoordde maar vervolgens wel consequent de fout doorzet bij de tweede deelvraag. Of waarbij deelvraag 2 en 3 wel goed werden beantwoord maar niet in relatie tot deelvraag 1.

Zodoende hebben wij van de vragen 17 en 19 voorbeeldantwoorden gemaakt en bekeken welke verbanden de leerlingen konden leggen tussen de verschillende deelvragen. Elk voorbeeldantwoord hebben wij vervolgens ingedeeld in één van de niveaus van de SOLO taxonomie (1. Prestructureel, 2. Unistruktuur, 3. Multistruktuur, 4. Relationeel of 5. Extended abstract) en deze voorgelegd aan onze begeleider. Na aanleiding hiervan hebben wij nog enkele kleine wijzigingen doorgevoerd in de niveau indeling. Dit had dan vooral betrekking op sommige voorbeeldantwoorden die lastig in één niveau te plaatsen waren omdat deze ook een overlap hadden met een ander niveau.

Aan de hand van deze indeling zijn we de resultaten van de leerlingen gaan analyseren en zijn deze verder uitgewerkt in het hoofdstuk resultaten. Daarbij is tevens gemotiveerd wanneer een antwoord in een bepaald niveau van de taxonomie is geplaatst.

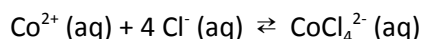
Virtueel lab

In ons onderzoek gebruiken we een zelf ontwikkeld virtueel practicum. Het virtueel practicum wordt uitgevoerd in een virtueel lab (laboratorium). Het virtueel lab dat we hiervoor gebruiken is het "Virtual lab: cobalt chloride and LeChatelier's Principle" van The ChemCollective (zie Fig. 5 voor een screenshot van dit virtueel lab). Het practicum kan bekeken worden via de volgende link:

<http://chemcollective.org/vlab/85>

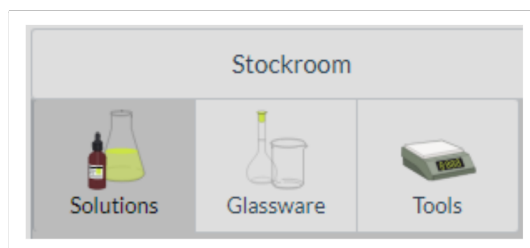
Dit virtueel lab is ontworpen rondom het concept chemisch evenwicht en bevat voor de leerlingen alle practicummaterialen (bekerglazen, erlenmeyers, pipetten, chemicaliën etc.) om het principe van Le Chatelier te onderzoeken.

De reactie waar het om draait in dit virtueel lab is een evenwichtsreactie, namelijk:



Deze evenwichtsreactie heeft aan beide kanten van het evenwicht in water opgeloste ionen (gehydrateerde ionen). Deze ionen worden gekenmerkt door een eigen kleur. Het in water opgeloste Co^{2+} -ion aan de linkerkant van bovengenoemde reactie is roze van kleur. Het in water opgeloste CoCl_4^{2-} -ion aan de rechterkant van bovengenoemde reactie is blauw van kleur. Overigens is het in water opgeloste Cl^{-} -ion aan de linkerkant van bovengenoemde reactie kleurloos. Door het wegnemen dan wel toevoegen van Cl^{-} -ionen aan een oplossing van Co^{2+} -ionen (en Cl^{-} -ionen) kan de ligging van het evenwicht verschuiven, respectievelijk naar links dan wel naar rechts, waarbij de kleur verschoven kan worden tussen roze (linkerkant van de evenwichtsreactie) en blauw (rechterkant van de evenwichtsreactie). Het verschuiven van het evenwicht betekent op microniveau dat het aantal deeltjes en de concentratie per ionsoort gewijzigd wordt. De kleur van de oplossing verandert daarmee ook. Tussen de roze en blauwe kleur zullen tevens mengkleuren hiervan zichtbaar worden.

Om deze evenwichtsreactie te kunnen onderzoeken zijn in het virtueel lab alle benodigdheden aanwezig in een magazijn (stockroom, zie Fig. 12). De benodigdheden zijn onder te verdelen in 1. vloeistoffen/oplossingen (Solutions), 2. glaswerk (Glassware) en 3. hulpmiddelen (Tools). Hieronder beschrijven we de verschillende onderdelen.



Figuur 12: Verschillende categorieën in het magazijn (ChemCollective.org)

- 1) In het virtueel lab zijn een viertal vloeistoffen/oplossing voorhanden
 - 1) demiwater (H_2O ; Distilled water): demiwater is te gebruiken om te verdunnen.
 - 2) kobalt(II)chloride-oplossing (1M CoCl_2 ; 1 Molar Cobalt(II)Chloride solution): de standaardoplossing voor dit evenwichtspracticum; drager van kobalt(II)- en chloride-ionen; roze van kleur.
 - 3) zoutzuur (12M HCl ; 12 Molar Hydrochlorid Acid): drager van chloride-ionen; zoutzuur is te gebruiken om chloride-ionen toe te voegen aan het evenwicht.

4) zilvernitraat-oplossing (6M AgNO_3 ; 6 Molar Silver Nitrate): drager van zilverionen; zilver- en chloride-ionen vormen samen het slecht oplosbare zout zilverchloride; zilvernitraat-oplossing is te gebruiken om chloride-ionen uit de oplossing te verwijderen.

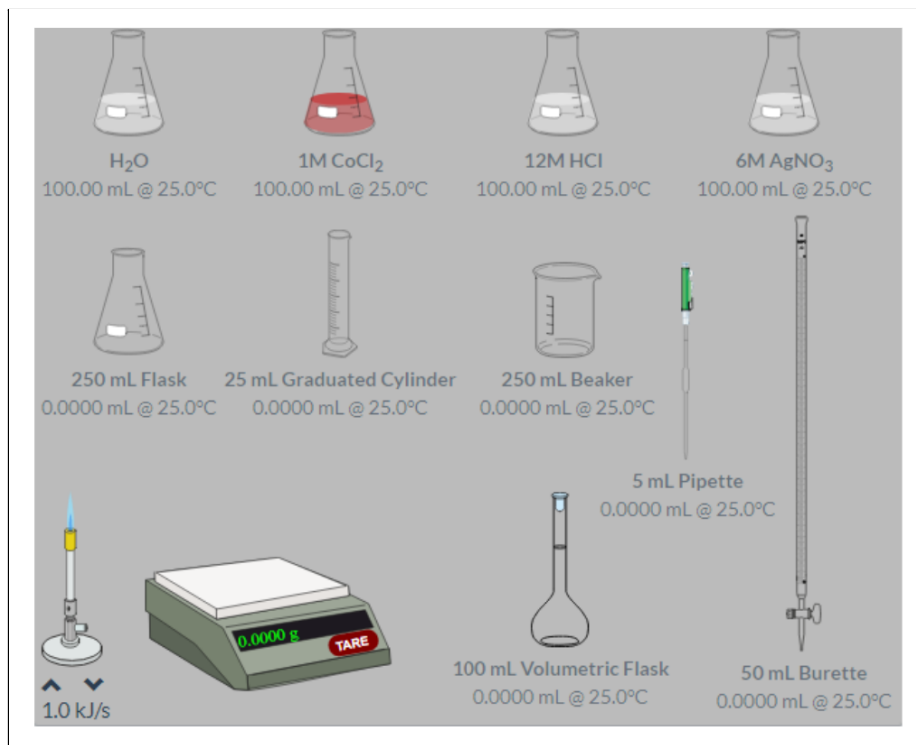
2) Daarnaast is er glaswerk beschikbaar binnen het virtueel lab

- 1) erlenmeyers (Erlenmeyers)
- 2) maatcilinders (Graduated Cylinders)
- 3) pipetten (Pipettes)
- 4) bekeerglazen (Beakers)
- 5) maatkolven (Volumetric Flasks)
- 6) buretten (Others -> Burette)

3) Als laatste zijn er nog andere hulpmiddelen beschikbaar, namelijk

- 1) een bunsenbrander (Bunsen Burner)
- 2) een weegschaal (Scale)

Bovengenoemde onderdelen zijn samengebracht in Fig. 13.



Figuur 13: De verschillende onderdelen in het magazijn (ChemCollective.org)

Net als in een practicumlokaal bij een practicum kun je ook in het virtueel lab handelingen uitvoeren met bovengenoemde onderdelen uit het magazijn. Zo kun je bijvoorbeeld:

- 1) chemicaliën verdunnen met water
- 2) chemicaliën aan elkaar toevoegen of met elkaar mengen
- 3) hoeveelheden afmeten of wegen
- 4) ontstane neerslag verwijderen (waarbij de vloeistof/oplossing behouden blijft)
- 5) vloeistof/oplossing verwijderen en daarmee de neerslag behouden
- 6) oplossingen verwarmen met de bunsenbrander

7) oplossingen afkoelen (vergelijk in de koelkast zetten)



Figuur 14: Voorbeelden van verschillende handelingen (ChemCollective.org)

De gevolgen/resultaten van bovenstaande handelingen en de daarbij behorende waarnemingen zijn in het virtueel lab gelijk aan wat zou gebeuren in een practicumlokaal; het virtueel lab is daarmee een getrouwe weergave van de werkelijkheid, zowel chemisch als fysisch.

In het virtueel lab kun je standaard het macroniveau aanschouwen (kleur, temperatuur, hoeveelheid) en daarnaast is ook standaard het symbolische niveau weergegeven. Zie als voorbeeld Fig. 15 hiervoor waarin het macroniveau en het symbolische niveau van een kobalt(II)chloride-oplossing te zien is.

| Species (aq) | Molarity |
|---|------------|
| H ⁺ | 9.84368e-8 |
| OH ⁻ | 9.84368e-8 |
| Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0.966539 |
| Cl ⁻ | 1.86616 |
| CoCl ₄ ²⁻ | 0.0334612 |

Figuur 15: Symbolisch en macroniveau (ChemCollective.org)

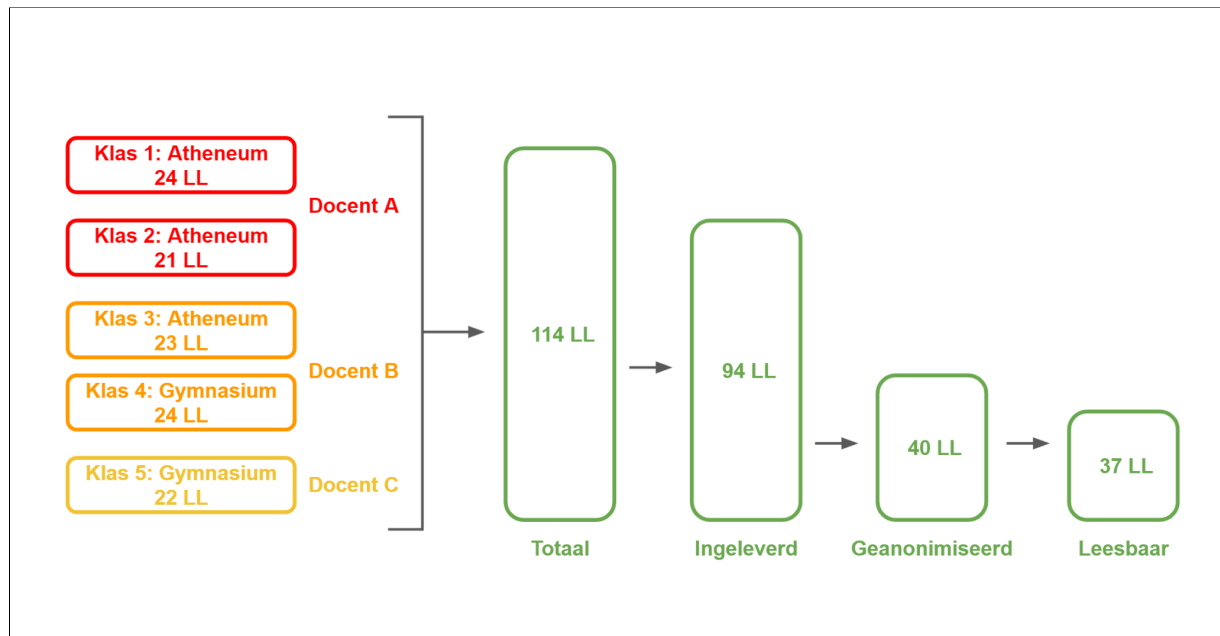
Daarnaast heb je ook de mogelijkheid om een weergave van het microniveau te tonen (aan te zetten via het menu bij view -> particle viewer). Dit staat standaard *niet* aan en wij hebben ervoor gekozen om dit ook niet te gebruiken, omdat dit ons inziens een verwarrend effect heeft op onze doelgroep. Naar onze mening is dit namelijk een behoorlijk chaotische weergave.

Wanneer dit virtueel lab wordt gebruikt in het Nederlandse scheikunde onderwijs, moet er verder nog rekening mee worden gehouden dat er een andere weergave op het symbolische niveau gebruikt wordt:

- Er wordt *molarity* gebruikt waar wij eerder *concentratie* zouden gebruiken
- Er wordt Co(H₂O)₆²⁺ (aq) genoteerd waar wij Co²⁺ (aq) zouden noteren

Participanten

Met de participanten van ons onderzoek bedoelen we de docenten van school X die meegewerkt hebben aan ons onderzoek en hun leerlingen die ons virtueel practicum en de bijbehorende opdrachten hebben gemaakt. In Fig. 16 zijn deze participanten schematisch weergegeven.



Figuur 16: Participanten, docenten en leerlingen betrokken in ons onderzoek

Docenten

Dit onderzoek is uitgevoerd bij een vijftal klassen op school X. In deze vijf klassen zijn drie docenten scheikunde werkzaam: docent A, docent B en docent C. Deze docenten zijn alle drie eerstegraads docent scheikunde, geven voornamelijk les in de bovenbouwklassen en hebben alle drie minimaal 15 jaar leservaring. Het zijn, kortom, ervaren docenten.

Eén van deze docenten is de jaarlaagcoördinator van scheikunde op vwo 5. Dit is docent A. Docent A geeft het vak scheikunde aan twee van de vijf genoemde klassen. Beide klassen zijn atheneum klassen. De jaarlaagcoördinator is verantwoordelijk voor de organisatie van het vak scheikunde op een bepaalde jaarlaag. Deze docent maakt onder andere de jaarplanning voor het vak op die laag en stelt de proefwerken op die gebruikt worden voor de toetsing van de stof. Tevens draagt de docent zorg voor het opstellen en beschikbaar stellen van een practicumbundel. In deze practicumbundel zijn de proeven en experimenten opgenomen die aansluiten bij de theorie van deze jaarlaag.

Docenten B en C zijn reguliere docenten scheikunde op deze jaarlaag. Docent B heeft 2 klassen (1 atheneumklas en 1 gymnasiumklas). Docent C heeft 1 gymnasiumklas.

Alle docenten zijn betrokken geweest bij de uitvoering van het practicum. Tevens hebben de docenten ons voorzien van feedback bij het ontwikkelen van het practicum (zie bijlage 6 en bijlage 7 met de feedback op prototype 0 en 1).

Leerlingen

Waar het brondocument (april 2020) van het practicum was geschreven voor havo 4 is de uiteindelijke versie geschreven voor de bovenbouwklassen van vwo (vijfde klas). Alle leerlingen die mee hebben gedaan aan dit onderzoek behoren tot dit niveau.

Het onderliggende concept van het practicum en de bijbehorende theorie van chemisch evenwicht is reeds in vwo 4 behandeld. Echter is een praktische toepassing van de theorie zoals een practicum nog niet eerder door de leerlingen gedaan. De docent scheikunde die leerlingen hebben, hoeft in vwo 4 niet gelijk te zijn aan de docent scheikunde die ze in vwo 5 hebben. In dit onderzoek hebben we alleen geregistreerd welke leerling welke docent scheikunde heeft in vwo 5. We hebben geen registratie van de docent scheikunde die de leerlingen in vwo 4 hebben gehad. We nemen aan dat de onderzoeksresultaten die we uiteindelijk gebruikt hebben, gelijkmatig verdeeld zijn over de docenten van vwo 4 en dat dit geen invloed heeft op de resultaten van ons onderzoek.

Een overzicht van de aantallen leerlingen per klas is gegeven in onderstaande tabel:

| Klas | Docent | Aantal leerlingen |
|--------|----------|-------------------|
| Klas 1 | Docent A | 24 |
| Klas 2 | Docent A | 21 |
| Klas 3 | Docent B | 23 |
| Klas 4 | Docent B | 24 |
| Klas 5 | Docent C | 22 |
| totaal | - | 114 |

Tabel 1. Verdeling van de 5 klassen met de bijbehorende docent en het aantal leerlingen

Van deze 114 leerlingen hebben 94 leerlingen de opdracht ingeleverd. Van deze 94 ingeleverde opdrachten waren er 40 ingeleverde opdrachten die geanonimiseerd konden worden. Het andere gedeelte van de leerlingen had hun persoonsgegevens te prominent op de uitwerkingen verwerkt waardoor deze niet te anonimiseren waren. Bij de 40 geanonimiseerde opdrachten bleken er 3 ingeleverde opdrachten niet volledig te zijn ingevuld of onleesbaar te zijn en daardoor onbruikbaar. We hebben daarmee dus 37 ingeleverde, volledige en geanonimiseerde opdrachten gebruikt in ons onderzoek.

Een overzicht van de verdeling van deze 37 meegenomen opdrachten per klas is gegeven in onderstaande tabel:

| Klas | Docent | Aantal opdrachten meegenomen |
|--------|----------|------------------------------|
| Klas 1 | Docent A | 4 |
| Klas 2 | Docent A | 4 |
| Klas 3 | Docent B | 5 |
| Klas 4 | Docent B | 14 |
| Klas 5 | Docent C | 10 |
| totaal | - | 37 |

Tabel 2. Aantal meegenomen opdrachten per klas

Te zien is dat we van iedere klas én van iedere docent meerdere ingeleverde opdrachten kunnen gebruiken voor ons onderzoek. Wat daarnaast opvalt, is dat van de gymnasiumklassen relatief veel ingeleverde opdrachten bruikbaar zijn. Dit lijkt niet samen te hangen met de docent, want docent B heeft zowel een atheneumklas als een gymnasiumklas.

Procedure

| Datum | Onderdeel | Toelichting |
|---------------|---|--|
| Juli 2020 | Practicumopdracht | Opdracht Vakdidactiek 2 (EMS30). Feedback medestudenten + vakdocent ontvangen. |
| | Tweede versie Practicumopdracht | “Evenwicht complexe ionen versie kobaltchloride - tweede versie” (Brondocument, Bijlage 5). Ontwikkeld voor havo 4. |
| December 2020 | Nieuwe opdracht voor vwo 5 | Na overleg met vakdocenten besloten om een nieuwe versie te ontwikkelen voor de toepassing in schooljaar 2020-2021. Het practicum wordt opgenomen als alternatief voor een bestaand practicum. T.o.v. de versie voor havo 4 wordt voor vwo 5 het principe van Le Chatelier opgenomen. |
| | Opstellen leerdoelen. | <ul style="list-style-type: none"> - Ophalen en herhalen van de opgedane kennis over evenwichten (module 4 van 4^e klas) d.m.v het oefenen hiermee. - Meer specifiek oefenen met het verstoren en verschuiven van evenwichten en het verklaren van de verschuiving met het principe van Le Chatelier. - Rekenen aan evenwichten |
| | Doorvoeren wijzigingen na literatuurstudie, Prototype 0 (bijlage 6) | Virtueel lab vraagt meer van het cognitief vermogen van het brein van de leerling. Dit nemen we verder mee in de ontwikkeling van het practicum. Het ontwikkelde prototype is voorzien van feedback door de vakdocenten. |
| Januari 2021 | Prototype 1 (bijlage 7) | Deze versie van het prototype is weer voorgelegd aan de vakdocenten voor feedback en daarop aangepast tot de definitieve versie. |

| | | |
|------------------|--|---|
| | Definitieve opdracht "Virtueel practicum" (prototype 2, bijlage 1) | Deze opdracht is opgenomen in de practicum bundel van vwo 5 en zal de komende jaren worden ingezet. |
| 4 Februari 2021 | Openstelling opdracht voor leerlingen | Alle benodigde informatie werd voor de leerlingen via het schoolsysteem Magister uitgezet. |
| 12 Februari 2021 | Deadline inleveren opdracht | De leerlingen hebben zelfstandig aan de opdracht kunnen werken in deze periode en zonder toezicht van docenten de opdracht uitgevoerd. Leerlingen moesten voor de deadline de uitwerkingen binnen Magister uploaden. |
| Maart 2021 | Anonimisering van ingeleverde opdrachten | Voor de verdere verwerking van de resultaten zijn alle inzendingen geanonimiseerd en voorzien van een nummer. |

Resultaten

Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van ons onderzoek. Wij hebben de resultaten per deelvraag uitgesplitst.

Met onderstaande punten in gedachten is het brondocument (bijlage 5) aangepast naar achtereenvolgens prototype 0 (bijlage 6), prototype 1 (bijlage 7) en het uiteindelijke virtueel practicum (prototype 2, bijlage 1). Prototype 2 is vervolgens ingezet als materiaal bij de vijf klassen van vwo 5 en hiermee hebben we de data gegenereerd en verzameld om de hoofdvraag van ons onderzoek te beantwoorden.

Resultaat deelvraag 1

“Hoe kan het micro-, macro-denken worden gestimuleerd in een virtueel lab voor chemische evenwichten?”

In het algemeen geldt bij scheikunde dat lesmateriaal zodanig ontworpen moet zijn dat de koppeling gemaakt wordt tussen de verschillende niveaus van de eerder genoemde scheikunde driehoek (Talanquer, 2011; Gilbert & Treagust, 2009; Gabel, 1999) en dat de cognitieve processen hierbij zo optimaal mogelijk verlopen. Onze suggestie is dat opdrachten moeten afdwingen om koppeling te maken tussen het ene en het andere niveau. Het denken in macroniveau, microniveau en symbolisch niveau kan gestimuleerd worden door de leerlingen opdrachten te geven waarbij ze moeten wisselen tussen de niveaus en waarbij ze de niveaus moeten koppelen. De opdrachten moeten het noodzakelijk maken dat leerlingen dit doen. Verder moeten de verschillende niveaus ook onderdeel zijn van de opdracht en weergegeven worden.

In eerder onderzoek wordt gesuggereerd dat het opnemen van alle drie de niveaus van de scheikunde driehoek in een virtueel practicum ervoor zal zorgen dat leerlingen meer verbindingen tussen deze niveaus zullen maken en dat ze daarmee in de eerder genoemde cognitieve processen worden gestimuleerd en daarmee het conceptueel begrip van het concept van onderwerp verdiept wordt (Irby, Borda & Haupt, 2018). Eerder werd al gesuggereerd dat het koppelen van de niveaus van de scheikunde driehoek zorgt voor een verschuiving van oppervlakkig begrip naar conceptueel begrip van chemische fenomenen (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2003). Gebruik van multimedia (bijvoorbeeld animaties en simulaties) is in potentie een krachtige manier om de leerlingen te activeren op de 3 verschillende niveaus. Onderzoek suggereert dat multimedia toepassingen effectief kunnen zijn in het bewerkstelligen van koppeling tussen de niveaus wanneer 2 of meer niveaus tegelijkertijd weergegeven worden (Kozma, 2003; Chiu & Wu, 2009).

Het micro-, macro-denken kan in een virtueel lab dus gestimuleerd worden door ervoor te zorgen dat 2 of meer niveaus van de scheikunde driehoek weergegeven zijn en leerlingen gestimuleerd worden om links te leggen tussen deze niveaus en de leerlingen te laten redeneren waarbij de verschillende niveaus nodig zijn in de redenering. Onze suggestie is dat juist een virtueel practicum in een virtueel lab zich hier goed voor leent, omdat dit de mogelijkheid heeft om 2 of meer niveaus tegelijkertijd te tonen en in de opdrachten erop aan te sturen dat links gelegd worden tussen de niveaus.

Inzichten vanuit deelvraag 1

De inzichten vanuit deelvraag 1 hebben we meegenomen in ons ontwerp van het virtueel practicum (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2) door leerlingen in de vraagstelling van meerdere opdrachten de koppeling te laten maken tussen de verschillende niveaus van de scheikunde driehoek. Hieronder enkele voorbeelden hoe we dat in de opdracht hebben gedaan:

1. Welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht links ligt? En welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht rechts ligt? (Gebruik hierbij de tekst uit de inleiding.)

Kleur evenwicht rechts: Kleur evenwicht links:

Figuur 17: Koppeling tussen macroniveau en evenwichtsligging van symbolisch niveau (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

7. Als je nu naar de gegevens kijkt van de erlenmeyer met de naam "kobaltoplossing zonder chloride-ionen" dan zie je dat er vrijwel geen chloride-ionen en CoCl_4^{2-} -ionen zijn. Dit is dus een mooie startoplossing voor dit experiment: we hebben nu dus vrijwel geen chloride-ionen meer, maar wel nog kobalt(II)ionen met water omringing: $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ ofwel $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ in de notatie van het virtuele lab. Merk op dat de kleur inderdaad roze is zoals je zou mogen verwachten (zie voorbereidende vraag 1).

Figuur 18: Koppeling tussen concentratie chloride-, kobalt(II)- en CoCl_4^{2-} -ionen en kleur (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

Ook de opdrachten die we daadwerkelijk gebruiken om diep leren bij de leerlingen vast te stellen, hebben we zodanig opgezet dat een koppeling gemaakt wordt tussen symbolisch en macroniveau. Dit hebben we gedaan bij de combinatie 15 (, 16) en 17 enerzijds en 18 en 19 anderzijds. Zie onderstaande Figuur:

15. Neem erlenmeyer #2 en verwarm door de erlenmeyer op de brander te slepen. Schrijf je waarnemingen op.
Waarneming bij verwarmen van erlenmeyer #2:
16. Neem de erlenmeyer weer van de brander en laat afkoelen. Schrijf wederom de waarnemingen op.
Waarneming bij afkoelen van erlenmeyer #2:
17. Bij het verhogen van de temperatuur zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. De endotherme reactie zal dan dus tijdelijk in het voordeel zijn. Je kunt nu dus zeggen:
Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naarlinks / rechts....., dus de reactie naarlinks / rechts..... isendotherm / exotherm.....

Figuur 19: Koppeling tussen kleur (macroniveau, opg 15) en notatie vd evenwichts verandering (symbolisch niveau, opg 17) (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

18. Verdun erlenmeyer #2 t/m 4 met water tot 100 mL. Je zult af en toe een nieuwe erlenmeyer met water moeten pakken uit de "Stockroom". Schrijf je waarnemingen op.
Waarneming bij verdunnen van erlenmeyer #2 t/m 4:
19. Bij het verdunnen van de oplossingen zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan.
Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van deminste / meeste..... opgeloste deeltjes. Bij verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus op naarlinks / rechts..... Daarom verschuift de kleur naar

Figuur 20: Koppeling tussen kleur (macroniveau, opg 18) en notatie van evenwichtsverandering (symbolisch niveau, opg 19) (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

Resultaat deelvraag 2

“Welke misconcepties met betrekking tot het concept chemisch evenwicht kunnen worden aangepakt in een virtueel lab?”

Om misconcepten te bestrijden of te repareren wordt in de literatuur gesuggereerd om onderwijskundige strategieën aan te dragen aan nieuwe én bestaande docenten om lessen (het onderwijs) te verbeteren. Als voorbeelden hiertoe worden onder andere genoemd: 1) het opzetten van overtuigende practica en 2) het gebruiken van methodes gebaseerd op nieuwe technologieën (Barke, 2009). Bovenstaande 2 mogelijkheden kunnen evengoed ook gelijktijdig gecombineerd worden door nieuwe technologie (in de vorm van een virtueel lab) te combineren met een overtuigend practicum.

Verder worden in de literatuur twee hypothesen gegeven om het onderwijs te beïnvloeden: 1) eerst de misconcepties benoemen en vervolgens de wetenschappelijk aanvaarde theorie aandragen en 2) eerst het correcte chemische concept behandelen en dit vervolgens vergelijken met eigen misconcepten van leerlingen of misconcepten uit de literatuur (Barke, 2009). Beide manieren lijken effectief te zijn in het vervangen van misconcepten door de juiste concepten.

In een virtueel lab kun je *die* misconcepten wegnemen waarbij leerlingen waarnemingen bij het virtueel practicum in *dat* virtueel lab moeten koppelen aan hun *eigen* ideeën (dit kunnen misconcepten zijn) over het concept *dat* behandeld wordt. Het beschreven virtueel lab geeft mogelijkheden om met alle 4 in het theoretisch kader genoemde misconcepten aan de slag te gaan. Door gerichte opdrachten op te stellen bij het virtueel practicum kunnen leerlingen zich bewust worden van eventuele eigen misconcepten en ze vervolgens vervangen door de correcte concepten. Hieronder wordt beschreven welke misconcepten van het concept chemisch evenwicht op welke manier aangepakt kunnen worden.

- 1) Leerlingen raken verward tussen de hoeveelheid van de aanwezige stoffen (in mol) en de concentraties van deze stoffen (in mol/L) en vinden het moeilijk om hier aan te rekenen.

Door de leerlingen een volumeverandering te laten uitvoeren bij een virtueel practicum kunnen ze zich realiseren dat er geen ionen uit de evenwichtsvergelijking (Co^{2+} , Cl^- en CoCl_4^{2-}) worden toegevoegd. Meteen op het moment van verdunnen ($t=0$) worden wel moleculen water (H_2O)

toegevoegd. Hoewel de *hoeveelheid mol* van Co^{2+} , Cl^- en CoCl_4^{2-} op $t=0$ dus niet verandert, verandert wel meteen de concentratie van deze ionen. De concentratie is namelijk het aantal *mol per liter* oplossing. Door toevoegen van water daalt de concentratie van de genoemde ionen. In tegenstelling tot een regulier practicum kan dit in een virtueel lab eenvoudig inzichtelijk gemaakt worden door de gegevens van de concentratie rechtstreeks te tonen in, bijvoorbeeld, het symbolische niveau. Leerlingen worden op deze manier herinnerd aan het verschil tussen de hoeveelheid van ionen (in mol) en de concentratie van deze ionen (in mol/L). Bij berekeningen aan evenwichten moeten leerlingen zich (blijven) realiseren dat ze de concentratie moeten gebruiken en *niet* de hoeveelheid. Overigens zullen de concentraties van de ionen meteen vanaf $t=0$ gaan veranderen als reactie op de door de verdunning aangebrachte verstoring op het evenwicht en om zodoende een nieuwe evenwichtstoestand te bereiken waarbij de evenwichtsbreuk (Q) weer gelijk wordt aan de evenwichtsconstante (K). De leerling kan dan verder ook beredeneren *hoe* de concentraties vervolgens zullen veranderen o.b.v. het principe van Le Chatelier (zie misconcept 4 hieronder).

- 2) Leerlingen voorzien niet (voldoende) dat de heengaan- en de teruggaande reacties tegelijkertijd plaatsvinden en doorgronden niet wat zal gebeuren bij toevoegen van één van de betrokken stoffen.

Hiervan kun je in een virtueel practicum in ieder geval aanpakken wat zal gebeuren bij toevoegen van één van de betrokken stoffen, namelijk door te behandelen wat de invloed is van een concentratieverandering van een van de stoffen. In de evenwichtsbreuk (Q) zijn de formules van de ionen Co^{2+} , Cl^- en CoCl_4^{2-} aanwezig. Laat de leerlingen vervolgens bijvoorbeeld verschillende hoeveelheden (mol) Cl^- opgelost in water toevoegen. Op $t=0$ verandert hierdoor de hoeveelheid (in mol) én de concentratie (in mol/L) van Cl^- waardoor de evenwichtsbreuk niet meer gelijk is aan de evenwichtsconstante. Initieel (op $t=0$) veranderen de hoeveelheden (in mol) van Co^{2+} en CoCl_4^{2-} niet, want deze ionen worden immers *niet* toegevoegd. Wel veranderen de concentraties (mol/L) van deze ionen doordat het volume toeneemt door toevoegen van een bepaalde hoeveelheid (in mL) van de oplossing met chloride-ionen. Meteen vanaf $t=0$ zullen de concentraties van de genoemde ionen vervolgens gaan veranderen om zodoende de verstoring weer tegen te werken en ervoor te zorgen dat $Q=K$ weer zal gelden. Hierbij geldt net als bij het vorige misconcept dat dit in tegenstelling tot een regulier practicum in een virtueel lab eenvoudig inzichtelijk gemaakt kan worden door de gegevens van de concentratie rechtstreeks te tonen in, bijvoorbeeld, het symbolische niveau. En ook hier zullen de leerlingen middels het principe van Le Chatelier kunnen beredeneren welke reactie (heen- of teruggaande) tijdelijk in het voordeel zal zijn.

- 3) Leerlingen misinterpreteren de evenwichtsconstante K en hebben incorrecte ideeën over de variabiliteit hiervan.

Door leerlingen te laten rekenen aan de evenwichtsconstante van verschillende oplossingen kun je de leerlingen in staat stellen eventuele misconcepten met betrekking tot de evenwichtsconstante K op te sporen en weg te nemen. Leerlingen kunnen dan namelijk observeren dat de evenwichtsconstante K in alle oplossingen dezelfde waarde heeft bij gelijke temperatuur, ondanks de volledig verschillende concentraties van de ionen uit de concentratiebreuk Q. De evenwichtsconstante is immers *alleen* afhankelijk van de temperatuur. Wederom heeft een virtueel lab hierbij weer een groot voordeel ten opzichte van een regulier practicum, omdat de gegevens van de concentratie eenvoudig rechtstreeks te tonen zijn in, bijvoorbeeld, het symbolische niveau. Hiermee wordt het rekenen aan verschillende oplossingen daadwerkelijk mogelijk gemaakt.

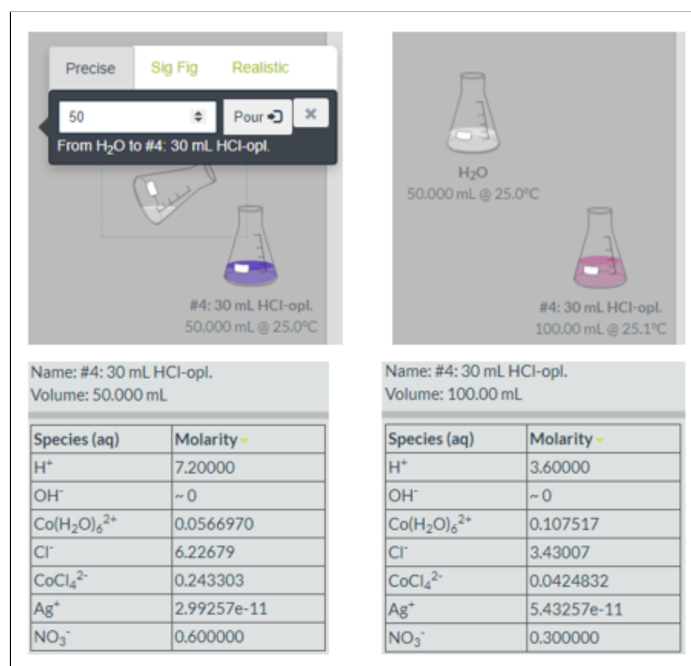
- 4) Leerlingen kunnen het principe van Le Chatelier niet correct toepassen en/of begrijpen het principe van Le Chatelier niet of onvoldoende.

Misconcepten rondom het principe van Le Chatelier kun je aan het licht brengen en verhelpen door de leerlingen daadwerkelijk verstoringen aan te brengen aan een evenwicht en ze de opgetreden waarnemingen te laten verklaren aan de hand van Le Chatelier. Laat de leerlingen hiertoe eerst een experiment doen in het virtueel practicum, laat ze waarnemen wat gebeurt en laat ze deze waarnemingen als laatste stap koppelen aan het principe van Le Chatelier. Op deze manier ontdekken de leerlingen eventuele misconcepten (foute ideeën) bij zichzelf en omdat ze de koppeling moeten maken tussen waarneming en theorie stimuleert dit het redeneren over waarnemingen in samenhang met theorie.

Inzichten vanuit deelvraag 2

De inzichten vanuit deelvraag 2 hebben we meegenomen in ons ontwerp van het virtueel practicum (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2) door leerlingen in de vraagstelling in de gelegenheid te stellen bekende misconcepten bij zichzelf te herkennen en te vervangen door de juiste concepten. Hieronder laten we zien hoe we dat in de opdracht hebben gedaan:

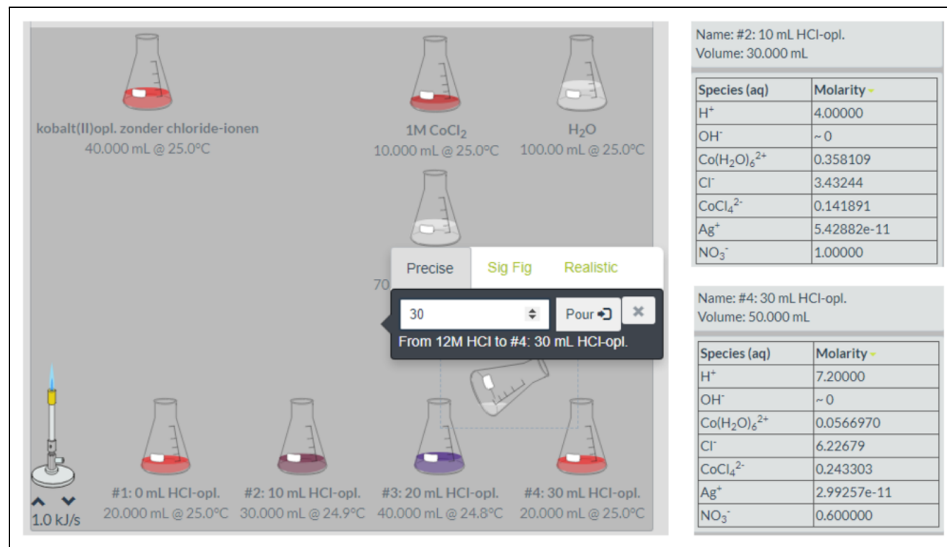
Om de eerste misconceptie aan te pakken, hebben we opdracht "Onderdeel 4: De invloed van een volumeverandering" t/m punt 18 gemaakt (zie bijlage 1) die tot frictie kan leiden bij leerlingen die dit misconcept hebben rondom de (samengestelde) eenheden mol en mol/L en die ertoe kan leiden dat ze dit vervangen door het juiste concept. De leerlingen realiseren zich dat door het verdunnen van de oplossingen geen ionen uit de evenwichtsvergelijking (Co^{2+} , Cl^- en CoCl_4^{2-}) worden toegevoegd en dat de *hoeveelheid mol* van Co^{2+} , Cl^- en CoCl_4^{2-} op $t=0$ dus niet verandert, maar dat wel meteen de concentratie van deze ionen verandert (zie Fig. 21).



Figuur 21: Verdunnen met factor 2 leidt niet 2x lagere concentratie (ChemCollective.org)

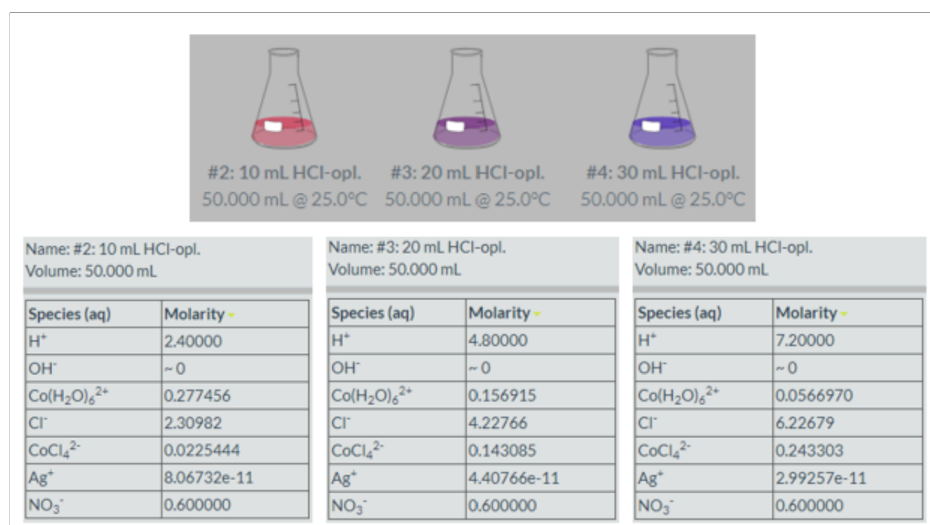
Om de tweede misconceptie tegen te gaan, hebben we opdracht "Onderdeel 2: De invloed van een concentratieverandering" t/m punt 11 ontwikkeld (zie bijlage 1) die tot frictie kan leiden bij leerlingen

die dit misconception hebben rondom toevoegen van één van de betrokken stoffen en die ertoe kan leiden dat ze dit misconception vervangen door het juiste concept. De leerlingen voegen hierbij verschillende hoeveelheden (mol) chloride-ionen toe middels het toevoegen van verschillende volumes zoutzuur en zien zowel de kleur (macroniveau) als de concentraties (symbolische niveau) veranderen (zie Fig. 22).



Figuur 22: Toevoegen van zoutzuur → effect op macroniveau en symbolische niveau (ChemCollective.org)

Met betrekking tot misconception 3 hebben we opdracht "Onderdeel 2: De invloed van een concentratieverandering" punt 11 t/m punt 13 ontwikkeld (zie bijlage 1) die tot frictie kan leiden bij leerlingen die dit misconception hebben rondom de evenwichtsconstante K en die ertoe kan leiden dat ze dit misconception vervangen door het juiste concept. Leerlingen zullen namelijk merken dat de evenwichtsconstante K in alle erlenmeyer dezelfde waarde heeft, ondanks de volledig verschillende concentraties van de ionen uit de concentratiebreuk Q. De evenwichtsconstante is immers *alleen* afhankelijk van de temperatuur en de temperatuur is in alle vier de erlenmeyer gelijk, namelijk 25,0 °C (zie Fig. 23).



Figuur 23: Oplossingen met verschillende concentraties (en kleuren) zullen dezelfde evenwichtsconstante K opleveren (ChemCollective.org)

Als laatste pogen we misconceptie 4 aan het licht te brengen en te remediëren bij “Onderdeel 2: De invloed van een concentratieverandering” punt 14, bij “Onderdeel 3: De invloed van een temperatuursverandering” punt 17 en bij “Onderdeel 4: De invloed van een volumeverandering” punt 19 (zie bijlage 1). In achtereenvolgens deze punten 14, 17 en 19 moeten de leerlingen de waarnemingen vanuit het virtueel practicum namelijk koppelen aan de theorie van Le Chatelier en ontdekken daarmee eventuele misconcepten (foute ideeën) bij zichzelf om ze vervolgens te vervangen door het juiste concepten.

Resultaat deelvraag 3

“Op welke manier kan de extraneous cognitive load van het virtueel lab worden geminimaliseerd?”

Mayer & Fiorella (2014) beschrijven een vijftal principes om de extraneous cognitive load te minimaliseren:

- coherence principle (met bijbehorend Seductive details effect)
Zorg ervoor dat er geen irrelevant materiaal opgenomen wordt; zelfs geen interessante, maar irrelevante informatie (*seductive details*).
- signaling principle (ook wel cueing principle genoemd)
Zorg ervoor dat je belangrijke informatie (visueel) extra onder de aandacht brengt (onderstrepen, vet- of cursief gedrukt).
- redundancy principle
Zorg ervoor dat het gelijktijdig gebruik van gesproken tekst en (identieke) geschreven tekst voorkomen wordt.
- spatial contiguity principle
Zorg ervoor dat geschreven tekst vlakbij de bijbehorende plaatjes staat.
- temporal contiguity
Zorg ervoor dat gesproken tekst en animatie op hetzelfde moment wordt gepresenteerd.

Inzichten vanuit deelvraag 3

Een belangrijk onderdeel van ons materiaal bij het virtueel lab (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2) is een instructiefilm waardoor de leerlingen bekend raken met de mogelijkheden en materialen van het virtueel lab. De film gebruikt uitsluitend gesproken tekst (en géén geschreven tekst) en volgt daarmee het *redundancy principle*. We hebben ook bewust geen irrelevante informatie of *seductive details* hierin opgenomen; alleen informatie die daadwerkelijk nodig is voor de opdracht en volgt daarmee het *coherence principle*. Verder wordt in de film gelijktijdig de handelingen getoont én met gesproken tekst toegelicht. Hiermee wordt het *temporal contiguity principle* gevolgd.

De andere twee principes hebben we toegepast in de geschreven opdracht bij het virtueel lab. In de inleiding en voorbereidende vragen hebben we belangrijke termen vetgedrukt en we hebben een duidelijke indeling gemaakt met onderstreepte koppen. Dit is in lijn met het *signaling principle* (zie Fig. 24).

Leerdoel

- Ofrissen kennis evenwichten (module 4 van 4^e klas) en hiermee oefenen
- Meer specifiek ga je oefenen met het verstoren en verschuiven van evenwichten en het verklaren van de verschuiving met het principe van Le Chatelier.
- Daarnaast ga je rekenen aan evenwichten

Vorbereiding

- Weet je van jezelf dat je de theorie van evenwichten niet zo goed (meer) beheerst, bestudeer dan H2 en H3 van module 4 van de 4^e klas nogmaals.
- Lees de onderstaande inleiding en maak vervolgens de voorbereidende vragen.

Inleiding

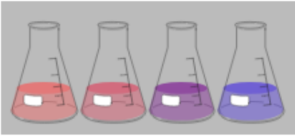
In de 4^e klas heb je in module 4 geleerd dat er bij scheikundige reacties vaak sprake is van omkeerbare reacties. Dit wil zeggen dat de heengaande reactie plaatsvindt (beginstoffen naar reactieproducten), maar dat tegelijkertijd ook de teruggaande reactie zal plaatsvinden (reactieproducten weer terug naar beginstoffen). Op een gegeven moment zal de reactiesnelheid van beide reacties gelijk zijn. We spreken dan van **chemisch evenwicht**. De concentraties van de stoffen die betrokken zijn bij de reactie veranderen dan niet meer (macroniveau). Realiseer je wel dat er op microniveau echter nog steeds stoffen omgezet en gevormd worden. Het chemisch evenwicht geven we weer in een **evenwichtsvergelijking** met een **dubbele pijl**. Vanuit deze vergelijking heb je geleerd een **concentratiebreuk (Q)** op te stellen en dat je daarbij te maken kunt hebben met ofwel een **homogeen** ofwel een **heterogeen** evenwicht. Wanneer er sprake is van een evenwicht, is de concentratiebreuk gelijk aan de **evenwichtsconstante (K)**. Bij evenwicht geldt dus $Q = K$. De evenwichtsconstante geldt voor een reactie bij een bepaalde temperatuur. De evenwichtsconstante is dus *niet* afhankelijk van de beginhoeveelheid van de stoffen (deeltjes) waarmee het instellen van het evenwicht begint, maar *alleen* afhankelijk van de temperatuur. Verder leerde je dat bij evenwichten soms kunt spreken van de ligging van het evenwicht, bijvoorbeeld "het evenwicht ligt links" als je het hebt over het oplossen van een zout dat slecht oplosbaar is.

Figuur 24: Uitwerking van signaling principle in prototype 2 (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

Als laatste hebben we afbeeldingen en bijbehorende informatie in het materiaal bij elkaar gezet en volgen hiermee het *spatial contiguity principle* (zie Fig. 25).

$$\text{Co}^{2+} (\text{aq}) + 4 \text{Cl}^{-} (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CoCl}_4^{2-} (\text{aq})$$

Afhankelijk van de ligging van dit evenwicht krijgt de oplossing een bepaalde kleur. Zo kun je verschillende kleuren maken (zie afbeelding 1).



▲ afbeelding 1
kleuren bij verschillende chlorideconcentraties

Figuur 25: Toepassing van spatial contiguity principle in prototype 2 (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

Daarnaast zorgen we met de instructiefilm ook voor het benodigde vertrouwen (Moore, Herzog & Perkins, 2013) bij de leerlingen met het virtueel lab en volgt het daarmee het in het theoretisch kader genoemde *pre-training principle*. Dit *pre-training principle* geldt ook voor de uitgebreide inleiding en de voorbereidende vragen. Verder is de instructiefilm ontworpen volgens het *modality principle* door woorden als gesproken tekst te presenteren in plaats van als geschreven tekst.



Overige inzichten vanuit theoretisch kader

Het door ons ontwikkelde materiaal (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2) is tevens op andere punten zodanig opgesteld om te komen tot effectief lesmateriaal indachtig de verschillende onderwerpen vanuit het theoretische kader.

We stimuleren diep leren (Novak, 2002) door de leerlingen terug te laten grijpen op de kennis die ze omtrent chemisch evenwicht al verworven hebben in vwo 4 en deze kennis te laten toepassen in een nieuwe situatie (virtueel practicum). Om de kennis van vwo 4 weer te activeren hebben we in de opdracht een uitgebreide inleiding gegeven en zijn voorbereidende vragen opgesteld om de leerlingen actief te richten op het onderwerp.

We hebben gepoogd om te komen tot effectiviteit op niveau 1 en 2 bij de domeinen van waarneming (w) en ideeën (i) (zie tabel 1; Abraham & Millar, 2008) door in onze opdrachten te zorgen voor:

- duidelijke, stap-voor-stap opdrachten die maken dat de leerlingen de juiste handelingen uitvoeren in het virtueel lab en daarmee de juiste waarnemingen doen. In de opdrachten wordt veelvuldig verwezen naar de waarnemingen, zodat de aandacht van de leerlingen gericht wordt op het doen van de juiste waarnemingen (zie Fig. 26).

| |
|---|
| <p><input type="checkbox"/> 1. Ga naar het virtuele lab en zet de virtuele opstelling klaar zoals te zien is in afbeelding 2. Gebruik hierbij het volgende instructiefilmpje: instructiefilm klaarzetten practicumopstelling</p> <p><input type="checkbox"/> 2. Breng 90 mL CoCl_2-oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Dit doe je door de erlenmeyer met de oplossing op de andere erlenmeyer te slepen en vervolgens 90 mL in te schenken () en venster te sluiten ()</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Als je de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen" aanklikt zie je bij de gegevens links dat er nog wel degelijk chloride-ionen aanwezig zijn. We begonnen immers met een CoCl_2-oplossing. Temperatuur geeft 25 °C aan. De chloride-ionen gaan we allereerst laten neerslaan (zie voorbereidende vraag 3). Dit doen we met een zilvernitraatoplossing. Er ontstaat dan de vaste stof zilverchloride en daarmee gaan de chloride-ionen uit de oplossing.</p> <p><input type="checkbox"/> 4. Breng 30 mL AgNO_3-oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Kijk wat er gebeurt met de temperatuur bij toevoegen! Wacht een tijdje tot de temperatuur weer 25 °C is. Je ziet dan dat de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing ook niet meer veranderen.</p> |
|---|

Figuur 26: Stap-voor-stap met duidelijke handelingen én waarnemingen (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

- vragen waarbij de leerlingen direct opvolgend op de handelingen met waarnemingen moeten rapporteren over deze waarnemingen. Hiermee wordt gestimuleerd dat de waarnemingen ook na het practicum herinnerd zullen worden (zie Fig. 27).

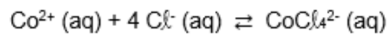
| |
|---|
| <p><input type="checkbox"/> 18. Verdun erlenmeyer #2 t/m 4 met water tot 100 mL. Je zult af en toe een nieuwe erlenmeyer met water moeten pakken uit de "Stockroom". Schrijf je waarnemingen op. <i>Waarneming bij verdunnen van erlenmeyer #2 t/m 4:</i></p> |
|---|

Figuur 27: Combinatie van uitvoeren handeling en noteren waarneming (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

- heldere indeling van het virtueel practicum in verschillende onderdelen zodat leerlingen weten welke ideeën ze moeten gebruiken om na te denken over hun acties en waarnemingen (zie Fig. 28).

Onderdeel 4: De invloed van een volumeverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de oplossing te verdunnen.



Figuur 28: Heldere indeling om leerlingen te begeleiden in ideeën/waarnemingen (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

- een koppeling tussen de ideeën (concepten van chemisch evenwicht) en de waarnemingen. Ze moeten hier redeneren door gebruik te maken van waarnemingen en ideeën. Hiermee wordt gestimuleerd dat de leerlingen begrip en inzicht kunnen vertonen van de ideeën waarvoor de praktische opdracht is ontworpen (zie Fig. 29).

□ 19. Bij het verdunnen van de oplossingen zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. *Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van deminste / meeste..... opgeloste deeltjes. Bij verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus op naarlinks / rechts..... . Daarom verschuift de kleur naar*

Figuur 29: Opdracht met koppeling tussen ideeën en waarnemingen (bijlage 1: Virtueel practicum prototype 2)

Met bovengenoemde vier punten stimuleren we dat de leerlingen met dit virtueel practicum de juiste theorieën gaan gebruiken en dat de leerlingen reflecteren op de resultaten die uit het practicum komen.

Resultaat hoofdvraag van het onderzoek

“Vindt bij leerlingen van vwo 5 diep leren plaats bij het uitvoeren van een practicum chemisch evenwicht in het virtueel lab van ChemCollective?”

Het virtueel practicum (prototype 2) is door de leerlingen uitgevoerd op de computer en de leerlingen hebben vervolgens op papier de opgaven beantwoord. De gegevens van de leerlingen zijn anoniem verwerkt in een spreadsheet. In deze spreadsheet is een waarde aan de antwoorden van de leerlingen gekoppeld. Wanneer de opgave goed was beantwoord, werd deze beoordeeld met een 2, wanneer deze deels goed was of er informatie ontbrak in de formulering van het antwoord, dan kreeg de leerling 1 punt en wanneer de leerling de opgave in zijn geheel fout had, werd er een 0 toegekend. Tevens werden er antwoorden genoteerd die niet leesbaar waren; hieraan zijn dan ook geen punten toegekend. In het onderstaande overzicht zijn alle resultaten te zien (zie bijlage 3 voor een uitvergroete versie). Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen foutieve antwoorden (rode kleur en nul punten), orange antwoorden waar een deel van het antwoord correct was (1 punt) en vragen die geheel goed waren beantwoord (groen, 2 punten). De blauw gekleurde cellen zijn antwoorden die ontbraken of niet leesbaar waren en de gele cellen zijn van een leerling die deze vragen op beide manieren correct beantwoordt (de leerling geeft twee antwoorden op deze vraag) en duidelijk het principe snapt.

Tevens is er in het figuur aangegeven welke vragen in verband met elkaar staan. Vraag 1 en 15 zijn gekoppeld aan vraag 17 (paars) en vraag 18 is de voorbereidende vraag op vraag 19 (roze)

| Leerling | Punten | Voorbereidende vragen | | | | | Uitvoering | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|-----------------------|---|---|---|---|------------|----|----|---|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4a | 4b | 5 | 11 | 12a | 12b | 12c | 13 | 14a | 14b | 15 | 16 | 17a | 17b | 17c | 18 | 19a | 19b | 19c | | |
| 1 | 47 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 43 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 39 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 4 | 30 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 5 | 30 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | |
| 6 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 7 | 41 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 8 | 38 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 9 | 45 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | |
| 10 | 42 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | |
| 11 | 45 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | |
| 12 | 32 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | |
| 13 | 38 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | |
| 14 | 29 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 15 | 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 16 | 21 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | |
| 17 | 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | |
| 18 | 38 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 19 | 26 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | |
| 20 | 34 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | |
| 21 | 43 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 22 | 38 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | |
| 23 | 37 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | |
| 24 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 25 | 37 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| 26 | 48 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 27 | 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 28 | 33 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 29 | 39 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 30 | 49 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 31 | 37 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | |
| 32 | 43 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 33 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 34 | 19 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 35 | 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | |
| 36 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 37 | 30 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Figuur 30: Analyse van resultaten (zie bijlage 3: Data analyse overzicht)

Na een analyse van de opgaven is besloten om verder onderzoek te doen op opgaven 17 (a,b en c) en 19 (a,b en c) omdat er binnen deze opgaven mogelijk sprake kan zijn van diep leren. Deze beide

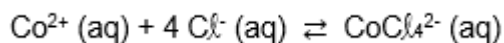
vragen hebben eenzelfde opbouw waarbij de leerling een verband moet leggen tussen de drie in te vullen onderdelen van de opgaven alsmede aan de verworven voorkennis.

Er is per opgaven een analyse gemaakt van de correcte en de foutieve antwoorden op basis van het correctiemodel (zie uitwerkingen in bijlage 2). Met de onderzochte literatuur over misconcepten als basis is onderzocht welke denkfouten/misconcepten bij de leerling vermoedelijk hebben bestaan en hoe deze het antwoord hebben beïnvloed. Tevens is er onderzocht of er een relatie te vinden was tussen de voorbereidende vragen (opgaven 1, 15 en 18) en de antwoorden geformuleerd op de opgaven 17 en 19. Zijn er in die voorbereidende opgaven al denkfouten gemaakt die tot een foutief antwoord hebben geleid? De relatie tussen deze voorbereidende opgaven en de opgave 17 en 19 worden hieronder voor zowel vraag 17 als 19 toegelicht.

Hierdoor ontstond een helder overzicht van correcte en foutieve antwoorden waarna wij hier de SOLO taxonomie op hebben toegepast. Elk antwoord is voorzien van een bepaald niveau uit deze taxonomie zoals omschreven is in het theoretisch kader, variërend van het laagste niveau (niveau 1; prestructural) tot het hoogste niveau (niveau 5; extended abstract).

Na de analyse van opgave 17 en 19 geven we ook een analyse op wel of niet diep leren bij het virtueel practicum.

Analyse opgave 17



Bij het verhogen van de temperatuur zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. De endotherme reactie zal dan dus tijdelijk in het voordeel zijn. Je kunt nu dus zeggen:
Bij het verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar link/rechts, dus de reactie naar links/rechts is endotherm/exotherm.

Waarneming en logische stappen

1. Wanneer de leerling dit correct uitvoert, zal de leerling zien dat de kleur van roze verandert naar blauw = antwoord 15 (waarneming bij punt 15).
2. Eerder heeft de leerling beredeneerd dat de linkerkant van het evenwicht roze is en de rechterkant blauw is = antwoord voorbereidende vraag 1 (zie voorbereidende vraag 1).
3. Bij verwarmen schuift het evenwicht dus op naar rechts = antwoord 17a (volgt uit waarneming bij punt 15 en antwoord op voorbereidende vraag 1).
4. Bij verwarmen is de endotherme reactie tijdelijk in het voordeel (zie tekst bij punt 17)
5. Naar rechts is dus de endotherme reactie = antwoord 17b en 17c (conclusie bij punt 17)
6. Daarmee is naar links dus de exotherme reactie (alternatieve correcte conclusie bij punt 17)

Er is een analyse van de antwoorden op vraag 17 doorgevoerd op correcte en foute antwoorden. In de foute antwoorden is er een onderscheid te maken in de verschillende fouten.

Correcte antwoorden

1. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **rechts** dus de reactie naar **rechts** is **endotherm**. (2,2,2) SOLO 4

2. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **rechts** dus de reactie naar **links** is **exotherm**. (2,2,2) SOLO 4

Analyse correcte antwoorden

Het overgrote deel van de leerlingen met een maximale score voor opgave 17 doet dat door antwoord 1 te formuleren. Er is echter een leerling (leerling 9) die de vraag ook juist beantwoordt maar dat doet als antwoord 2. Voor beide antwoorden geldt dat we deze hebben ingedeeld in niveau 4 van de SOLO taxonomie

Leerling 11 laat zien de theorie achter deze vraag helemaal te begrijpen, want deze leerling beantwoordt de vraag op beide wijze en legt dus goede verbanden. Alle voorbereidende vragen heeft de leerling ook goed. Er is hier sprake van het hoogste niveau van diep leren volgens de SOLO taxonomie, niveau 5.

Bij 2 leerlingen geven we ondanks de volledig correcte score bij deelvragen 17 toch een lager niveau, namelijk bij leerlingen 19 en 23. Ze geven bij 17a namelijk het (correcte) antwoord rechts, terwijl dit niet in overeenstemming is met hun (foutieve) antwoord op voorbereidende vraag 1. Deze 2 leerlingen krijgen hiermee niveau 3.

Foutieve antwoorden

1. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **links** dus de reactie naar **links** is **endotherm**. (0,0,2) SOLO 3

Analyse 1

Leerlingen 13 en 25 lijken te weten dat bij verwarmen de endotherme reactie tijdelijk in het voordeel is. Alleen klopt de kant niet. Alle voorbereidende vragen 1+15 zijn door deze leerlingen wel goed beantwoord. Dit antwoord is zodoende ingedeeld in niveau 3 van de SOLO taxonomie.

Leerling 28 is vergelijkbaar, maar heeft paars gebruikt in plaats van blauw bij voorbereidende vraag 1.

2. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **links** dus de reactie naar **rechts** is **exotherm**. (0,2,0) SOLO 1

Analyse 2

Leerling 29 lijkt te weten dat bij verwarmen de endotherme reactie tijdelijk in het voordeel is. Alleen klopt de kant vervolgens niet. Alle voorbereidende vragen 1+15 goed. Deze analyse is daarmee vergelijkbaar met analyse 1 hierboven en heeft derhalve hetzelfde niveau. Het antwoord wordt zodoende op niveau 3 geplaatst in de taxonomie.

3. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **rechts** dus de reactie naar **links** is **endotherm**. (2,0,2) SOLO 2

Analyse 3

Leerlingen 18 en 27 lijken het misconception te hebben dat bij verwarmen de exotherme reactie tijdelijk in het voordeel is. Ze passen het principe van Le Chatelier dus niet correct toe om vanuit 17a tot correcte antwoorden te komen bij 17b/c. Ze hebben wél de juiste waarneming bij opgave 15 gedaan en juist gekoppeld aan vraag 17a. Daardoor wordt dit antwoord geplaatst op niveau 2.

NB Leerling 18 heeft paars in plaats van blauw en rood in plaats van roze gebruikt bij voorbereidende vraag 1.

4. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **links** dus de reactie naar **rechts** is **endotherm**. (0,2,2) SOLO 2

Analyse 4

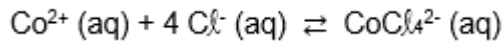
Leerling 21 kiest de foute kant bij deelvraag 17a. Daarnaast lijkt de leerling het misconception te hebben dat bij verwarmen de exotherme reactie tijdelijk in het voordeel is. Dit antwoord wordt ingedeeld op niveau 1.

5. Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naar **rechts** dus de reactie naar **rechts** is **exotherm**. (2,2,0) SOLO 1

Analyse 5

Leerling 34 geeft geen antwoord op de keuzevraag endotherm / exotherm. Deze leerling lijkt dus niet te weten of endotherm dan wel exotherm tijdelijk in het voordeel is. Daarnaast kiest de leerling bij 17a het (correcte) antwoord rechts, terwijl dit niet in overeenstemming is met zijn (foutieve) antwoord op voorbereidende vraag 1. Dit antwoord wordt ingedeeld op niveau 1.

Analyse opgave 19



Bij het verdunnen van de oplossingen zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de minste / meeste opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar links/rechts. Daarom verschuift de kleur naar

Waarneming en logische stappen

1. Wanneer de leerling dit correct uitvoert, zal de leerling zien dat de kleur van blauw verandert naar roze = antwoord 18 (waarneming bij punt 18).
2. Eerder heeft de leerling beredeneerd dat de linkerkant van het evenwicht roze is en de rechterkant blauw is = antwoord voorbereidende vraag 1 (zie voorbereidende vraag 1).
3. Bij verdunnen schuift het evenwicht op naar de kant met de meeste deeltjes = antwoord 19a (concept "principe van Le Chatelier" of conclusie vanuit waarneming punt 18)
4. Bij verdunnen schuift het evenwicht dus op naar links = antwoord 19b (volgt uit waarneming bij punt 18 en antwoord op voorbereidende vraag 1 of uit de combinatie van 19a en de evenwichtsvergelijking).
5. De kleur verschuift dus naar roze = antwoord 19c (conclusie bij punt 19 en tevens waargenomen bij punt 18).

Er is een analyse van de antwoorden op vraag 19 doorgevoerd op correcte en foute antwoorden. In de foute antwoorden is er een onderscheid te maken in de verschillende fouten.

Correcte antwoorden

1. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **meeste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **links**. Daarom verschuift de kleur naar **roze** (2,2,2) SOLO 4

Analyse correcte antwoorden

Deze vraag 19 wordt door 21 leerlingen correct beantwoord. Het valt echter op dat hiervan een groep van 12 leerlingen vraag 19 weliswaar goed beantwoordt, maar bij vraag 18 niet het gezochte antwoord geeft. Zij hebben geen juiste koppeling tussen 18 en 19c gelegd en hebben vraag 18 naar aanleiding van vraag 19 dus niet verbeterd. Vandaar dat bij deze 12 leerlingen niveau 3 is toegekend aan hun antwoorden in plaats van niveau 4.

Foutieve antwoorden

1. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **meeste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **links**. Daarom verschuift de kleur naar **niet ingevuld** (2,2,0) SOLO 3

Analyse 1

Leerlingen 12 en 13 hebben bij 19c géén antwoord gegeven. Ze hebben conceptueel een goede koppeling tussen Le Chatelier en evenwichtsvergelijking gemaakt bij 19a en 19b, maar dit niet gekoppeld aan waarnemingen. Het antwoord wordt ingedeeld op niveau 3.

2. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **meeste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **links**. Daarom verschuift de kleur naar **links** (2,2,1) SOLO 3

Analyse 2

Bij 19c wordt in plaats van een kleur een kant genoemd; conceptueel klopt het antwoord maar de bedoeling was om de kleur te benoemen. Leerling 16 heeft het antwoord op opgave 18 niet fout, maar ook niet volledig goed. Principe van Le Chatelier goed toegepast en correct gekoppeld aan de evenwichtsvergelijking. 19c is echter niet gekoppeld aan de waarneming. Leerling 20 heeft een vergelijkbaar antwoord gegeven als leerling 16, maar heeft daarnaast opgave 18 wel fout. Het antwoord van beide leerlingen wordt ingedeeld op niveau 3.

3. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **minste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **links**. Daarom verschuift de kleur naar **roze** (0,2,2) SOLO 2

Analyse 3

Leerlingen 10, 23 en 31 hadden de waarneming bij 18 correct én gekoppeld aan antwoord bij 19c. Maar het idee rondom Le Chatelier klopt niet en het antwoord van 19a is niet correct gekoppeld aan antwoord van 19b. Koppeling van 19b aan 19c klopt weliswaar, maar niet met 19a.

Leerlingen 5, 7, 19 en 22 hadden de waarneming bij 18 incorrect en niet gekoppeld aan antwoord bij 19c. Verder klopt idee rondom Le Chatelier niet en is het antwoord van 19a niet correct gekoppeld aan antwoord van 19b. Alleen koppeling van 19b aan 19c klopt.

Voor beide bovenstaande groepen wordt dit antwoord ingedeeld op niveau 2.

4. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **minste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **rechts**. Daarom verschuift de kleur naar **verschillende antwoorden** (0,0,0) SOLO 2

Analyse 4

Leerling 28 heeft de waarneming bij 18 incorrect. Verder klopt het idee rondom het principe van Le Chatelier niet en is koppeling tussen 19b en 19c foutief. Koppeling tussen 19a en 19b is wel correct.

Leerling 34 heeft niets ingevuld bij 19abc, maar heeft wel de waarneming bij 18 correct.

Leerling 37 heeft de waarneming bij 18 incorrect en niet correct gekoppeld aan 19c. Verder klopt het idee rondom het principe van Le Chatelier niet. Koppeling tussen 19a, 19b en 19c is wel correct.

Bovenstaande drie leerlingen hebben alle een onderdeel goed en krijgen daarmee niveau 2.

5. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **minste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **rechts**. Daarom verschuift de kleur naar **roze** (0,0,2) SOLO 2

Analyse 5

Leerling 25 heeft de waarneming bij 18 incorrect. Verder klopt het idee rondom het principe van Le Chatelier niet en is koppeling tussen 19b en 19c foutief. Koppeling tussen 19a en 19b is wel correct.

Bovenstaande leerling heeft een onderdeel goed en krijgt daarmee, net als hierboven, ook niveau 2.

6. Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van de **minste** opgeloste deeltjes. bij het verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus naar **links**. Daarom verschuift de kleur naar **links** (0,2,1) SOLO 1

Analyse 6

Leerling 17 heeft de waarneming bij 18 incorrect en niet gekoppeld aan antwoord bij 19c. Verder klopt het idee rondom het principe van Le Chatelier niet en is het antwoord van 19a niet correct gekoppeld aan antwoord van 19b. 19c niet gekoppeld aan waarneming.

Bovenstaande leerling geeft daarmee een antwoord zonder logische verbanden en wordt ingedeeld op niveau 1.

Analyse diep leren

De resultaten van bovenstaande SOLO-indelingen hebben we verwerkt in het overzicht met de data per leerling. Dit is voor opgave 17 en opgave 19 uitgewerkt in Bijlage 4. Gecombineerd resulteert dit in onderstaande figuur.

| Leerling | Punten | Voorbereidende vragen | | | | | | Uitvoering | | | | | | | | | | | | | | SOLO vraag 17 | SOLO vraag 19 | | | | | | |
|----------|--------|-----------------------|---|---|---|---|---|------------|----|---|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|---------------|---------------|-----|----|-----|-------------------|--------------------|--------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4a | 4b | 5 | 11 | 12a | 12b | 12c | 13 | 14a | 14b | 15 | 16 | 17a | 17b | | | 17c | 18 | 19a | 19b | 19c | |
| 1 | 47 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational |
| 2 | 43 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational |
| 3 | 39 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural |
| 4 | 30 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 5 | 30 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 6 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 7 | 41 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 8 | 38 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 9 | 45 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 10 | 42 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 11 | 45 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 5. Extended Abs | 3. Multistructural | |
| 12 | 32 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 13 | 38 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 3. Multistructura | 3. Multistructural | |
| 14 | 29 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 15 | 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 16 | 21 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 17 | 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 4. Relational | 1. Prestructural | |
| 18 | 38 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2. Unistructural | 3. Multistructural | |
| 19 | 26 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 20 | 34 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 21 | 43 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1. Prestructural | 3. Multistructural | |
| 22 | 38 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 23 | 37 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 24 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 25 | 37 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 26 | 48 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 27 | 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2. Unistructural | 4. Relational | |
| 28 | 33 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 29 | 39 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructura | 3. Multistructural | |
| 30 | 49 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 31 | 37 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 32 | 43 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 33 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 34 | 19 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1. Prestructural | 2. Unistructural | |
| 35 | 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 36 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 37 | 30 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4. Relational | 2. Unistructural | |

Figuur 31: Analyse met koppeling naar SOLO niveau (zie bijlage 3: Data analyse overzicht)

We kunnen vervolgens een analyse maken van *diep leren* (niveau 4 of 5 van de SOLO taxonomie) versus *niet diep leren* (niveau 1, 2 of 3 van de SOLO taxonomie). Dit werken we hieronder verder uit:

9 leerlingen van de 37 (24%) geven bij géén van de opgaven 17 of 19 blij van diep leren (niveau 4 of niveau 5 van de SOLO taxonomie).

28 leerlingen van de 37 (76%) geven bij minimaal één van de opgaven 17 en 19 blij van diep leren (niveau 4 of niveau 5 van de SOLO taxonomie).

27 van de 37 leerlingen (73%) geven bij opgave 17 blij van diep leren (niveau 4 of niveau 5 van de SOLO taxonomie).

9 van de 37 leerlingen (24%) geven bij opgave 19 blij van diep leren (niveau 4 van de SOLO taxonomie).

8 leerlingen van de 37 (22%) geven bij zowel opgave 17 als opgave 19 blij van diep leren.

Discussie en conclusie

In deze sectie zullen we achtereenvolgens reflecteren op het onderzoek, trekken we conclusies en geven we voorstellen voor vervolgonderzoek. We sluiten af met implicaties van onze resultaten in de onderwijspraktijk.

Reflectie op onderzoek

Nu we het onderzoek uitgevoerd hebben, kunnen we reflecteren op *hoe* we het onderzoek hebben aangepakt en kunnen we met de kennis van nu aangeven waar we het *anders* hadden kunnen doen. Onderstaand bespreken we enkele belangrijke punten:

Deelvraag 1. “Hoe kan het micro-, macro-denken worden gestimuleerd in een virtueel lab voor chemische evenwichten?”

In het theoretische kader beschrijven we het belang van de scheikunde driehoek en dat het aan te raden is om minimaal 2 van de 3 niveaus te betrekken in lesmateriaal (Gilbert & Treagust, 2009; Gabel, 1999). We hebben dit in die zin ook toegepast (macro- en symbolische niveau), maar aan de andere kant moeten we ook vaststellen dat we het microniveau *niet* hebben meegenomen in het virtueel practicum. Zoals eerder beschreven hebben we bewust het aangeboden microniveau van het virtueel lab niet meegenomen, omdat het een chaotische en verwarrende weergave is voor de leerlingen, maar als alternatief hiervoor zou het goed zijn om met bijvoorbeeld visualisatie door plaatjes (in het lesmateriaal bij het virtueel practicum) het microniveau *wel* expliciet op te nemen. Je kunt betogen dat je daarmee diep leren sterker stimuleert dan in de huidige opzet.

Deelvraag 2. “Welke misconcepties met betrekking tot het concept chemisch evenwicht kunnen worden aangepakt in een virtueel lab?”

In het virtueel practicum worden de bekende misconcepten vanuit deelvraag 2 niet expliciet benoemd; ze worden nu alleen impliciet behandeld. Als we deze misconcepten expliciet zouden benoemen in de opdrachten bij het virtueel practicum, dan worden deze misconcepten mogelijk effectiever vervangen door de juiste concepten. Een ander punt dat genoemd kan worden, is dat het tweede misconcept (*leerlingen doorzien niet (voldoende) dat de heengaande en de teruggaande reacties tegelijkertijd plaatsvinden en doorgronden niet wat zal gebeuren bij toevoegen van één van de betrokken stoffen*) niet volledig aangepakt wordt middels het virtueel practicum. Het is aan te raden om hiervoor nog een onderdeel toe te voegen, waarmee de leerlingen (gaan) doorzien dat de heengaande en teruggaande reactie tegelijkertijd én voortdurend plaatsvinden. In het algemeen kunnen we stellen dat we maar beperkt zicht hebben op het remediëren van eventuele misconcepten door middel van het virtueel practicum. We kunnen echter betogen dat misconcepten worden weggenomen, omdat we diep leren stimuleren en omdat een practicum in theorie uitermate geschikt is om misconcepten weg te nemen vanwege de koppeling van waarnemingen aan ideeën (Abraham & Millar, 2008). We kunnen stellen dat we in het ontwerp rekening hebben gehouden met de meest voorkomende misconcepten, we hier opdrachten voor hebben opgenomen en dat we door middel van deze opdrachten aansturen op het aanleren van de juiste concepten. Uit de resultaten blijkt dat veel leerlingen na het maken van de opdrachten de juiste concepten beheersen; 76% van de leerlingen geeft blijk van diep leren en heeft daarmee dus de juiste concepten gebruikt.

Deelvraag 3. “Op welke manier kan de extraneous cognitive load van het virtueel lab worden geminimaliseerd?”

Meten extraneous cognitive load: we hebben *wel* de ontwerpprincipes toegepast voor verlagen van de extraneous cognitive load (Mayer & Fiorella, 2014), maar we hebben de extraneous load *niet* gemeten. Om zeker te weten dat de extraneous cognitive load verlaagd wordt met het virtueel practicum of voldoende laag is, zou je deze cognitive load kunnen meten. Uit de resultaten blijkt echter dat de leerlingen doorgaans de juiste handelingen hebben uitgevoerd én daaraan de juiste ideeën hebben gekoppeld. We kunnen dus de conclusie trekken dat we de extraneous cognitive load voldoende laag hebben gehouden of hebben gekregen om nog capaciteit over te houden voor germane cognitive load. 76% van de leerlingen heeft immers blijk gegeven van diep leren en heeft dus germane cognitive load gehad.

Hoofdvraag. “Vindt bij leerlingen van vwo 5 diep leren plaats bij het uitvoeren van een practicum chemisch evenwicht in het virtueel lab van ChemCollective?”

Indeling SOLO niveaus: we hebben bij opgave 17 en opgave 19 correcte antwoorden geformuleerd en zijn vervolgens de foutieve antwoorden gaan analyseren en hebben deze gekoppeld aan SOLO niveaus. Het indelen van de foutieve antwoorden naar de verschillende niveaus van SOLO is echter niet 100% eenduidig te doen. Zo kun je twisten of bepaalde antwoorden niveau 1 of 2 ingedeeld moeten worden. Ook hebben we regelmatig gediscussieerd over indelen op niveau 2 of 3. Uiteindelijk maakt dit echter niet uit voor onze hoofdonderzoeksvraag, omdat niveaus 1 t/m 3 gezien wordt als oppervlakkig leren en niveaus 4 en 5 gezien worden als diep leren. Of iets nu niveau 1, 2 of 3 krijgt, verandert dus niets aan de conclusie met betrekking tot diep leren. Op één punt heeft onze keuze *wel* gevolgen voor de conclusie over diep leren: er zijn 12 leerlingen die bij opdracht 19 ingedeeld worden op niveau 3, omdat ze weliswaar opdracht 19 volledig goed hebben, maar bij opdracht 18 niet het gewenste antwoord hebben gegeven. Mocht je dit wél indelen op niveau 4 dan zou 84% (in plaats van 76%) minimaal bij één vraag diep leren hebben laten zien, zou 57% (in plaats van 24%) diep leren hebben laten zien bij opdracht 19 en zou 46% (in plaats van 22%) bij beide vragen diep leren hebben laten zien.

Verbeteren vraagstelling opdracht 18: zoals hierboven aangegeven hebben relatief veel leerlingen bij deze vraag niet het gewenste antwoord gegeven. Deze vraag had duidelijker gekund; afgaande op de antwoorden lijken de leerlingen niet precies te weten welk antwoord verwacht wordt en geven als antwoord veelal “lichter” in plaats van het beoogde “kleur schuift op van blauw naar roze”. Dit punt staat echter los van het feit dat dit een virtueel practicum betreft en zou net zo goed ook bij een regulier practicum hebben kunnen gebeuren. In het algemeen zal het regelmatig voorkomen dat toetsvragen of opdrachten achteraf gezien niet optimaal geformuleerd zijn, waardoor leerlingen veelvuldig foutieve antwoorden geven. In dit geval leidt het er jammer genoeg wel toe dat bij opdracht 18/19 moeilijker te zeggen valt of diep leren heeft plaatsgevonden.

Ontwerp van het virtueel practicum: prototype 2 is behoorlijk sturend; de leerlingen worden heel duidelijk door het concept van chemisch evenwicht geleid en ze krijgen veelal meerkeuzevragen gepresenteerd. Achteraf gezien was het wellicht verstandig geweest om bij opdracht 17 en 19 complexere “beredeneer”-vragen op te nemen bij het practicum. Dit type vragen leent zich meer voor toepassing van de SOLO-taxonomie dan de gekozen drietraps-meerkeuzevragen van het huidige prototype. De antwoorden van de leerlingen zijn dan eenduidiger te koppelen aan de SOLO-niveaus

en je krijgt meer zekerheid over het conceptuele begrip van de leerlingen dan op de gekozen manier. Er is namelijk altijd een kans dat leerlingen gokken bij meerkeuzevragen en dat ze *toevallig* het goede antwoord kiezen, zelfs als het drie opeenvolgende meerkeuzevragen betreft.

Optimaliseren dataverzameling: achteraf gezien hadden we de antwoorden op de vragen van de leerlingen op een andere wijze moeten verzamelen. Er was nu geen eenduidige manier waarop de leerlingen de antwoorden moesten indienen. Hierdoor ontstond er een grote verscheidenheid aan verschillende bestandstypen, foto's en screenshots. Ook was de kwaliteit van de ingediende documenten niet eenduidig; zo waren er erg wazige foto's ingestuurd of ontbraken delen van ingescande pagina's. Hierdoor was het nakijken en beoordelen van het ingeleverde werk erg tijdrovend en hadden we dit terugkijkend anders moeten aanpakken. Tevens was er niet helder aangegeven waar de naam en klas van de leerling moest worden genoteerd waardoor een deel van de gegevens niet was te anonimiseren. Van de 114 leerlingen bleven er zo maar 37 bruikbare opdrachten over. Aan de andere kant: 37 bruikbare opdrachten is nog steeds aanzienlijk en bovendien waren deze voldoende verdeeld over de vijf klassen en de drie docenten. Bovendien zou het een omvangrijke klus zijn geweest als er *wel* 114 opdrachten bruikbare opdrachten zouden zijn geweest. Terugkijkend hadden we beter kunnen werken met een systeem waarbij we de leerlingen online de antwoorden lieten invullen in een opgesteld document. Optimaal zou zijn als we daarbij met een druk op de knop een overzicht hadden kunnen genereren met de correcte en foutieve antwoorden. Een ander gevolg van onze keuze met betrekking tot het aanbieden van de opdracht in de huidige vorm is dat de leerlingen de mogelijkheid hadden om samen te werken of zelfs de resultaten van een andere leerling volledig over te nemen. Wij hebben echter bij de analyse van de verzamelde data geen signalen opgemerkt dat dit op grote schaal is gebeurd. Alleen leerlingen 24 en 36 hebben een identieke score. Bij nadere inspectie blijkt echter dat deze leerlingen op verschillende punten andere antwoorden/formuleringen hebben gebruikt, waardoor het niet aannemelijk is dat de ene leerling de antwoorden van de ander heeft overgenomen. Het valt echter niet uit te sluiten dat er (op onderdelen) samen is gewerkt door leerlingen.

Conclusie

“Vindt bij leerlingen van vwo 5 diep leren plaats bij het uitvoeren van een practicum chemisch evenwicht in het virtueel lab van ChemCollective?”

Aangezien een ruime meerderheid van 76% van de leerlingen blijkt geeft van diep leren bij opgave 17 en/of 19 van het practicum kunnen we als antwoord op de hoofdvraag van ons onderzoek geven dat er inderdaad diep leren lijkt plaats te vinden bij het uitvoeren van een practicum chemisch evenwicht in het virtueel lab van ChemCollective.

Bovengenoemde *diep lerende* groep maakt een goede koppeling tussen het concept chemisch evenwicht (ideeën), de uit te voeren stappen in het virtueel lab (handelingen), het macroniveau van het virtueel practicum (waarnemingen) en het symbolische niveau (evenwichtsvergelijking, formules van ionen en bijbehorende concentraties).

We durven voorts wel de conclusie te trekken dat in het virtueel practicum voldoende rekening is gehouden met de cognitive load theory en dat er voldoende aandacht is geweest om de extraneous cognitive load en de intrinsic cognitive load te verminderen om zodoende de germane cognitive load te bevorderen.

Ook durven we generaliserend te concluderen dat een virtueel practicum ingezet kan worden om enkele (maar zeker niet alle) practica te vervangen om zodoende de (in de inleiding en aanleiding) genoemde voordelen optimaal te benutten, maar geen hinder te ondervinden van de genoemde nadelen.

Vervolgonderzoek

We zien een aantal richtingen waarin vervolgonderzoek zou kunnen gaan:

Het huidige virtueel practicum gaat specifiek over chemisch evenwicht. Het is interessant om een volgend onderzoek uit te voeren naar:

- onderzoek naar virtuele practica voor andere concepten binnen scheikunde
- uitvoeren van een virtueel practicum bij bijvoorbeeld natuurkunde
- een virtueel practicum met alle drie niveaus van de scheikunde driehoek; dus naast macro- en symbolische niveau óók microniveau expliciet toevoegen
- een volledig online opdracht bij het virtueel lab als aanvulling op de huidige opdrachten van prototype 2
- daadwerkelijk remediëren van misconcepten onderzoeken als aanvulling op onderzoek naar diep leren

Implicaties voor onderwijspraktijk

In dit onderzoek hebben we gezien dat een virtueel practicum met behulp van het virtueel lab van ChemCollective inderdaad ingezet kan worden bij het concept chemisch evenwicht. Dit leidt tot de volgende implicaties voor de onderwijspraktijk:

- We denken dat een virtueel practicum ook in te zetten is bij andere concepten uit de scheikunde en zelfs bij andere vakken zoals natuurkunde. Omdat het merendeel van de

virtuele labs die online beschikbaar zijn voldoende handvatten biedt voor een succesvol practicum is de kwaliteit van het ontwikkelde lesmateriaal (door oa het verlagen van de cognitieve load) van groter belang om een vorm van diep leren te kunnen bereiken. Met het juiste lesmateriaal, op maat gemaakt voor het gebruikte virtueel lab, kan ieder virtueel lab effectief ingezet kan worden om diep leren te bereiken.

- Voor het vak natuurkunde worden steeds meer virtuele practica ontwikkeld en zijn er verschillende digitale simulaties te vinden waarbinnen moeilijke concepten zoals quantum of relativiteit worden behandeld. Deze virtuele practica bieden de leerlingen de mogelijkheid om met abstracte concepten te experimenteren die in een normaal experiment in de klas onuitvoerbaar zouden zijn.
- Het kan interessant zijn om enkele van de reguliere practica te vervangen door een virtueel practicum. Je benut op die manier de voordelen van een virtueel practicum zonder dat de nadelen optreden. De leerling kan meerdere practica in een korter tijdsbestek uitvoeren zonder dat hij tussendoor bezig hoeft te zijn met bijvoorbeeld het schoonmaken van het glaswerk of het volgen van veiligheidsvoorschriften.
- Een niet eerder genoemd voordeel is dat leerlingen het bovendien leuk vinden om voor de verandering op een andere manier bezig te zijn met de materie en om eens in een virtuele wereld scheikunde te bedrijven.
- Daarnaast is het ook voor de docent een leuke afwisseling om een virtueel lab in te zetten in de onderwijspraktijk. Wij pleiten dan ook niet om alle klassikale practica te vervangen maar het in te zetten als aanvulling en afwisseling van het bestaande klassikale practica.

Bronnen

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science, *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969
- Barke H-D et al. (2009). Misconceptions in chemistry: addressing perceptions in chemical education, *Springer Chemistry and Materials Science*
- Biggs, J. (1979). Individual differences in study processes and the quality of learning outcomes. *Higher education*, 8(4), 381-934
- Butcher, K. R. (2014). The multimedia principle. In R. E. E. Mayer (Ed.). *The cambridge handbook of multimedia learning*, 174-205. (2nd ed.)
- Chiu, M.-H., & Wu, H.-K. (2009). The Roles of Multimedia in the Teaching and Learning of the Triplet Relationship in Chemistry. In *Multiple Representations in Chemical Education*; Springer: Dordrecht, The Netherlands; pp 251-283.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548
- Gilbert, J.K., & Treagust, D.F. (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, Vol. 4
- Hodges, L. C., & Harvey, L. C. (2003). Evaluation of student learning in organic chemistry using the SOLO taxonomy. *Journal of Chemical Education*, 80(7), 785
- Irby, S.M., Borda, E.J., & Haupt, J. (2018). Effects of Implementing a Hybrid Wet Lab and Online Module Lab Curriculum into a General Chemistry Course: Impacts on Student Performance and Engagement with the Chemistry Triplet. *Journal of Chemical Education*, 95, 224-232
- Johnstone A.H., (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- De Jong, T., & Lazonder, A. W. (2014). The guided discovery learning principle in multimedia learning. In R. E. E. Mayer (Ed.). *The cambridge handbook of multimedia learning*, 371-390. (2nd ed.)
- Karpudewan, M., Treagust, D. F., Mocerino, M., Won, M., & Chandrasegaran, A. L. (2015). Investigating High School Students' Understanding of Chemical Equilibrium Concepts. *International Journal of Environmental and Science Education*, 10(6), 845-863
- Kozma, R. (2003). The Material Features of Multiple Representations and Their Cognitive and Social Affordances for Science Understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226
- Leutner, D., & Schmeck, A. (2014). The generative drawing principle in multimedia learning. In R. E. E. Mayer (Ed.). *The cambridge handbook of multimedia learning*, 433-448. (2nd ed.)
- Mayer, R. (2014a). Cognitive theory of multimedia learning. In R. Mayer (Ed.). *The cambridge handbook of multimedia learning*, 43-72. (2nd ed.). (New York, NY, USA)
- Mayer, R. (2014b). Introduction to multimedia learning. In R. Mayer (Ed.). *The cambridge handbook of multimedia learning*, 1-24. (2nd ed.). (New York, NY, USA)
- Mayer, R. E. (2014c). *The cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge University Press

- Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2014). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. Cambridge handbooks in Psychology. *The cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed.)
- Mayer, R. E., & Pilegard, C. (2014). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pre-training, and modality principles. In R. E. E. Mayer (Ed.). *The cambridge handbook of multimedia learning*, 316-344. (2nd ed.)
- Millar, R. (2009). Analysing practical activities to assess and improve effectiveness: The Practical Activity Analysis Inventory (PAAI). York: *Centre for Innovation and Research in Science Education*, University of York
- Moore, E.B., Herzog, T.A., & Perkins, K. (2013). Interactive simulations as implicit support for guided-inquiry, *Chemistry Education Research and Practice*, 2013, 14, 257-268
- Mutlu-Bayraktar, D., Cosgun, V., & Altan, T. (2019). Cognitive load in multimedia learning environments: A systematic review, *Computers & Education*, 141 (2019) 103618
- Novak, J.D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548-571
- Syllabus Centraal Examen scheikunde vwo (2021), nader vastgesteld, versie 4 juli 2020, Examenblad, https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2021-scheikunde-vwo/2021/f=/scheikunde_4_versie_vwo_2021_nader_vastgesteld.pdf
- Taber, K.S., (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 156-168
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27–47). Buckingham, UK: Open University Press
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003) The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368
- Wylie, R., & Chi, M. T. H. (2014). The Self-Explanation Principle in Multimedia Learning. In R. E. E. Mayer (Ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 413-432. (2nd)

Bijlage 1: Virtueel practicum (prototype 2)

Virtueel practicum evenwichten met complexe ionen

Leerdoel

- Opfrissen kennis evenwichten (module 4 van 4^e klas) en hiermee oefenen
- Meer specifiek ga je oefenen met het verstoren en verschuiven van evenwichten en het verklaren van de verschuiving met het principe van Le Chatelier.
- Daarnaast ga je rekenen aan evenwichten

Vorbereiding

- Weet je van jezelf dat je de theorie van evenwichten niet zo goed (meer) beheerst, bestudeer dan H2 en H3 van module 4 van de 4^e klas nogmaals.
- Lees de onderstaande inleiding en maak vervolgens de voorbereidende vragen.

Inleiding

In de 4^e klas heb je in module 4 geleerd dat er bij scheikundige reacties vaak sprake is van omkeerbare reacties. Dit wil zeggen dat de heengaande reactie plaatsvindt (beginstoffen naar reactieproducten), maar dat tegelijkertijd ook de teruggaande reactie zal plaatsvinden (reactieproducten weer terug naar beginstoffen). Op een gegeven moment zal de reactiesnelheid van beide reacties gelijk zijn. We spreken dan van **chemisch evenwicht**. De concentraties van de stoffen die betrokken zijn bij de reactie veranderen dan niet meer (macroniveau). Realiseer je wel dat er op microniveau echter nog steeds stoffen omgezet en gevormd worden. Het chemisch evenwicht geven we weer in een **evenwichtsvergelijking** met een **dubbele pijl**. Vanuit deze vergelijking heb je geleerd een **concentratiebreuk (Q)** op te stellen en dat je daarbij te maken kunt hebben met ofwel een **homogeen** ofwel een **heterogeen** evenwicht. Wanneer er sprake is van een evenwicht, is de concentratiebreuk gelijk aan de **evenwichtsconstante (K)**. Bij evenwicht geldt dus **Q = K**. De evenwichtsconstante geldt voor een reactie bij een bepaalde temperatuur. De evenwichtsconstante is dus *niet* afhankelijk van de beginhoeveelheid van de stoffen (deeltjes) waarmee het instellen van het evenwicht begint, maar *alleen* afhankelijk van de temperatuur. Verder leerde je dat bij evenwichten soms kunt spreken van de ligging van het evenwicht, bijvoorbeeld "het evenwicht ligt links" als je het hebt over het oplossen van een zout dat slecht oplosbaar is.

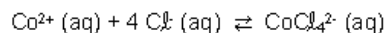
Na deze introductie van het onderwerp evenwichten leerde je dat je evenwichten ook kunt laten verschuiven. Je doet dit door de omstandigheden die het evenwichtssysteem had te veranderen. We zeggen dan dat we het evenwicht '*verstoren*'. Via het **principe van Le**

Chatelier kun je vervolgens beredeneren hoe de verstoring van het evenwicht zal leiden tot een nieuw evenwicht. In dit virtuele practicum ga je een evenwicht bestuderen en ga je onderzoeken hoe je dit evenwicht kunt verstoren en hoe het vervolgens verschuift. De waarnemingen die volgen op een verstoring ga je verklaren met het principe van Le Chatelier.

Het evenwicht dat je gaat bestuderen in dit practicum is het evenwicht tussen aan de ene kant opgeloste kobalt(II)ionen en chloride-ionen en aan de andere kant het opgeloste, complex ion CoCl_4^{2-} .

Wanneer kobalt(II)ionen opgelost zijn in water, dan zijn ze omgeven door watermoleculen. We zeggen dan dat de kobalt(II)ionen **gehydrateerd** zijn en dat noteren we als $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$. Dat is dan eigenlijk een omringing met watermoleculen. Gehydrateerde kobalt(II)ionen geven het water een roze kleur. Maar een andere omringing is ook mogelijk. Zo kunnen kobalt(II)ionen ook omringd zijn met chloride-ionen. Dat noem je een complex ion. De formule van dit complex ion is CoCl_4^{2-} . Het complex ion $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ geeft het water een blauwe kleur.

Evenwichten spelen bij de vorming van complexe ionen een belangrijke rol. Wanneer kobalt(II)ionen en chloride-ionen namelijk samen in oplossing aanwezig zijn, zal een evenwicht optreden. We kunnen hier de volgende evenwichtsvergelijking voor opstellen:



Afhankelijk van de ligging van dit evenwicht krijgt de oplossing een bepaalde kleur. Zo kun je verschillende kleuren maken (zie afbeelding 1).



▲ afbeelding 1
Keuren bij verschillende chlorideconcentraties

Vorbereidende vragen

Zoals je hierboven hebt kunnen lezen, kun je met dit evenwicht oplossingen met verschillende kleuren krijgen.

1. Welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht links ligt? En welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht rechts ligt? (Gebruik hierbij de tekst uit de inleiding.)

Kleur evenwicht rechts: *Kleur evenwicht links:*

Een oplossing van kobalt(II)ionen en chloride-ionen kun je verkrijgen door het oplossen van kobalt(II)chloride in water.

2. Geef de **oplosvergelijking** van het oplossen van kobalt(II)chloride

.....

Door het toevoegen van een oplossing van zilvernitraat kun je de chloride-ionen uit de oplossing halen. Je maakt dan gebruik van het verschil in oplosbaarheid van zouten zoals in BINAS tabel 45A gegeven. De reactie die dan optreedt, noemen we een **neerslagreactie**.

3. Geef de vergelijking van de neerslagreactie die optreedt als een oplossing van zilvernitraat wordt toegevoegd aan de oplossing van kobalt(II)chloride.

.....

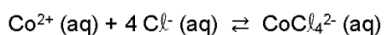
In het practicum ga je ook gebruik maken van een oplossing van het gas waterstofchloride in water. Als waterstofchloride opgelost wordt in water, treedt er een reactie op.

4. Geef de reactievergelijking van de reactie van waterstofchloride met water én geef de naam van de oplossing die ontstaat.

.....

.....

Zoals in de inleiding beschreven, ga je het volgende evenwicht bestuderen in het practicum:



5. Stel de concentratiebreuk op van dit evenwicht én geef aan of dit een homogeen of een heterogeen evenwicht is.

.....

.....

In de 4^e klas heb je geleerd dat je een evenwicht op verschillende manieren kunt verstoren.

6. Geef 4 manieren waarop je een evenwicht kunt verstoren

1. 3.

2. 4.

Uitvoering

Je gaat dit practicum virtueel uitvoeren. Dat wil zeggen: je gaat dit online doen met een applet. De applet vind je op: (kopieer de URL eventueel naar de browser, als link niet werkt)

<http://chemcollective.org/vlab/85>

Onderzoeksvragen:

- Hoe kun je het genoemde evenwicht verstoren en verschuiven?
- Hoe kun je de verschuiving verklaren met het principe van Le Chatelier?

In het virtuele lab gebruik je uit de "Stockroom" de volgende materialen:

Solutions:

demiwater (*H₂O distilled water*)

1 molair kobalt(II)chloride-oplossing (*1M CoCl₂*)

12 molair zoutzuur (*12M HCl*)

6 molair zilvernitraat-oplossing (*6M AgNO₃*)

Glassware, Erlenmeyers:

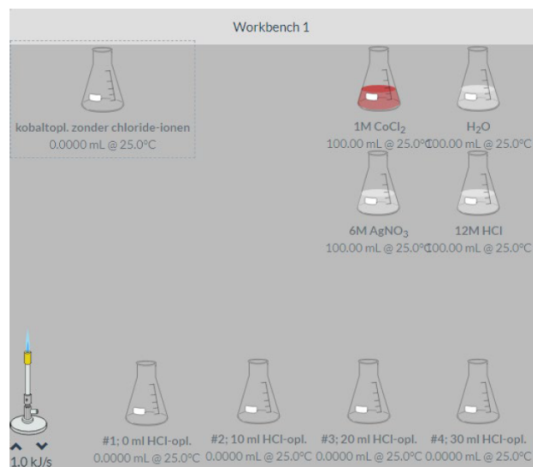
250 mL erlenmeyers (*250 mL Flask*)

Tools:

Brander (*Bunsen burner*)

Opmerking bij het virtuele lab

- Waar wij $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ noteren, gebruikt Chem Collective de notatie $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$. Dat is de eerder genoemde omringing door watermoleculen. Dit is dus hetzelfde.
- Chem Collective gebruikt bij het aangeven van de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing de grootheid "Molarity" waar wij gewend zijn om concentratie te gebruiken. De eenheid is in beide gevallen in mol/L.



▲ afbeelding 2

practicumopstelling tijdens practicum

Onderdeel 1: klaar zetten van de opstelling

(vink ieder onderdeel af na uitvoeren)

- 1. Ga naar het [virtuele lab](#) en zet de virtuele opstelling klaar zoals te zien is in afbeelding 2. Gebruik hierbij het volgende instructiefilmpje: [instructiefilm klaarzetten practicumopstelling](#)
- 2. Breng 90 mL CoCl_2 -oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Dit doe je door de erlenmeyer met de oplossing op de andere erlenmeyer te slepen en vervolgens 90 mL in te schenken (Pour →) en venster te sluiten (✕)
- 3. Als je de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen" aanklikt zie je bij de gegevens links dat er nog wel degelijk chloride-ionen aanwezig zijn. We begonnen immers met een CoCl_2 -oplossing. Temperatuur geeft 25 °C aan. De chloride-ionen gaan we allereerst laten neerslaan (zie *voorbereidende vraag 3*). Dit doen we met een zilvernitraatoplossing. Er ontstaat dan de vaste stof zilverchloride en daarmee gaan de chloride-ionen uit de oplossing.
- 4. Breng 30 mL AgNO_3 -oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Kijk wat er gebeurt met de temperatuur bij toevoegen! Wacht een tijdje tot de temperatuur weer 25 °C is. Je ziet dan dat de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing ook niet meer veranderen.

De temperatuur wordthoger / lager..... na toevoegen van de AgNO_3 -oplossing. Er is dus sprake van eenexotherme / endotherme..... reactie.

5. Schrijf op welk volume nu in de erlenmeyer zit.

Het volume na toevoegen van de AgNO_3 -oplossing is mL.

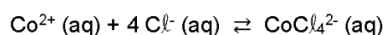
6. Je kunt vervolgens het ontstane neerslag verwijderen door met de rechtermuisklik te kiezen voor verwijder neerslag (**Remove Solid**). Merk op dat het volume nu 120 mL is (dit is ook te verwachten als je 90 mL en 30 mL samenvoegt)

7. Als je nu naar de gegevens kijkt van de erlenmeyer met de naam "kobaltoplossing zonder chloride-ionen" dan zie je dat er vrijwel geen chloride-ionen en CoCl_4^{2-} -ionen zijn. Dit is dus een mooie startoplossing voor dit experiment: we hebben nu dus vrijwel geen chloride-ionen meer, maar wel nog kobalt(II)ionen met water omringing:

$\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ ofwel $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ in de notatie van het virtuele lab. Merk op dat de kleur inderdaad roze is zoals je zou mogen verwachten (zie voorbereidende vraag 1).

Onderdeel 2: De invloed van een concentratieverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de *concentratie* van chloride-ionen te *veranderen*.



8. Vul de vier lege erlenmeyers allemaal met 20 mL van de kobaltoplossing zonder chloride-ionen.

9. Voeg vervolgens de juiste hoeveelheid zoutzuur toe (volgens beschrijving erlenmeyer); dus erlenmeyer #1 krijgt geen zoutzuur, #2 krijgt 10 mL, #3 krijgt 20 mL en #4 krijg 30 mL zoutzuur. Door het toevoegen van zoutzuur, verhoog je de concentratie van chloride-ionen.

10. Vul alle vier de erlenmeyers aan met demiwater (indien nodig) zodat het totale volume in alle vier de erlenmeyers 50 mL bedraagt.

11. Je hebt nu vier erlenmeyers gevuld met 50 mL oplossing, maar ze hebben allemaal een andere kleur en ook andere concentraties. Wanneer de temperatuur van de oplossingen in de erlenmeyers weer 25,0 °C is, is er sprake van evenwicht. Vul dan onderstaande tabel in met 4 significante cijfers en waar handig de wetenschappelijke notatie:

▼ tabel 1

resultaat onderdeel 2

| ion (aq) | Erlenmeyer 1 0 mL HCl-opl (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 2 10 mL HCl-opl (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 3 20 mL HCl-opl (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 4 30 mL HCl-opl (concentratie mol/L) |
|---------------------------------|--|---|---|---|
| Co ²⁺ | | | | |
| Cl ⁻ | | | | |
| CoCl ₄ ²⁻ | | | | |

12. Bereken voor erlenmeyer 2 t/m 4 de waarde van de concentratiebreuk in 3 significante cijfers en daarmee dus de evenwichtsconstante.

Bij erlenmeyer 2 is de evenwichtsconstante K:

.....

Bij erlenmeyer 3 is de evenwichtsconstante K:

.....

Bij erlenmeyer 4 is de evenwichtsconstante K:

.....

13. Waarom kunnen we bij erlenmeyer 1 geen evenwichtsconstante uitrekenen?

Bij erlenmeyer 1 kunnen we geen evenwichtsconstante uitrekenen, omdat

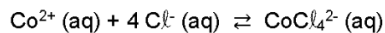
.....

14. Van erlenmeyer 2 naar 4 heb je steeds meer chloride-ionen toegevoegd en daarmee het evenwicht verstoord. Volgens het principe van Le Chatelier reageert het evenwichtssysteem zodanig dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. Je kunt dus zeggen:

Het evenwichtssysteem gaat de verstoring (toevoegen van extra chloride-ionen) zoveel mogelijk tegen, dus wanneer je extra chloride-ionen toevoegt aan de oplossing, verschuift het evenwicht naarlinks / rechts..... . Door deze verschuiving wordt de concentratie van chloride-ionen duslager/hoger..... ten opzichte van de toegevoegde concentratie chloride-ionen.

Onderdeel 3: De invloed van een temperatuursverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de *temperatuur te veranderen*.



15. Neem erlenmeyer #2 en verwarm door de erlenmeyer op de brander te slepen. Schrijf je waarnemingen op.

Waarneming bij verwarmen van erlenmeyer #2:

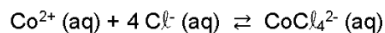
16. Neem de erlenmeyer weer van de brander en laat afkoelen. Schrijf wederom de waarnemingen op.

Waarneming bij afkoelen van erlenmeyer #2:

17. Bij het verhogen van de temperatuur zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. De endotherme reactie zal dan dus tijdelijk in het voordeel zijn. Je kunt nu dus zeggen:
Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naarlinks / rechts..... , dus de reactie naarlinks / rechts..... isendotherm / exotherm..... .

Onderdeel 4: De invloed van een volumeverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de oplossing te *verdunnen*.



18. Verdun erlenmeyer #2 t/m 4 met water tot 100 mL. Je zult af en toe een nieuwe erlenmeyer met water moeten pakken uit de "Stockroom". Schrijf je waarnemingen op.

Waarneming bij verdunnen van erlenmeyer #2 t/m 4:

19. Bij het verdunnen van de oplossingen zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan.
Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van deminste / meeste..... opgeloste deeltjes. Bij verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus op naarlinks / rechts..... . Daarom verschuift de kleur naar

Samenvattend: Een invloed laat het chemisch evenwicht zodanig verschuiven dat deze invloed wordt tegengewerkt. Dit is het principe van Le Chatelier.

Bijlage 2: Virtueel practicum (prototype 2), uitwerkingen

Proef 4: Virtueel practicum evenwichten met complexe ionen

Doelen van dit experiment:

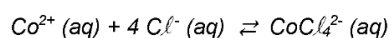
- Oprfrissen kennis evenwichten (module 4 van 4^e klas) en hiermee oefenen
- Meer specifiek ga je oefenen met het verstoren en verschuiven van evenwichten en het verklaren van de verschuiving met het principe van Le Chatelier.
- Daarnaast ga je rekenen aan evenwichten

Vorbereiding

- Weet je van jezelf dat je de theorie van evenwichten niet zo goed (meer) beheerst, bestudeer dan H2 en H3 van module 4 van de 4^e klas nogmaals.
- Lees de onderstaande inleiding en maak vervolgens de voorbereidende vragen 1t/m 6.

Uitwerking

Wanneer kobalt(II)ionen opgelost zijn in water, dan zijn ze omgeven door watermoleculen. We zeggen dan dat de kobalt(II)ionen **gehydrateerd** zijn en dat noteren we als $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$. Dat is dan eigenlijk een omringing met watermoleculen. Gehydrateerde kobalt(II)ionen geven het water een roze kleur. Maar een andere omringing is ook mogelijk. Zo kunnen kobalt(II)ionen ook omringd zijn met chloride-ionen. Dat noem je een complex ion. De formule van dit complex ion is CoCl_4^{2-} . Het complex ion $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ geeft het water een blauwe kleur.



roze

blauw

Afhankelijk van de ligging van dit evenwicht krijgt de oplossing een bepaalde kleur. Zo kun je verschillende kleuren maken (zie afbeelding 1).



▲ afbeelding 1

kleuren bij verschillende chlorideconcentraties

Vorbereidende vragen

1. Welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht links ligt? En welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht rechts ligt? (Gebruik hierbij de tekst uit de inleiding.)

Kleur evenwicht rechts: **blauw** Kleur evenwicht links: **roze**

Een oplossing van kobalt(II)ionen en chloride-ionen kun je verkrijgen door het oplossen van kobalt(II)chloride in water.

2. Geef de **oplosvergelijking** van het oplossen van kobalt(II)chloride



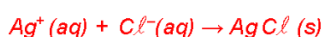
Door het toevoegen van een oplossing van zilvernitraat kun je de chloride-ionen uit de oplossing halen. Je maakt dan gebruik van het verschil in oplosbaarheid van zouten zoals in BINAS tabel 45A gegeven. De reactie die dan optreedt, noemen we een neerslagreactie.

3. Geef de vergelijking van de neerslagreactie die optreedt als een oplossing van zilvernitraat wordt toegevoegd aan de oplossing van kobalt(II)chloride.

In oplossing van zilvernitraat zijn aanwezig als deeltjes: Ag^+ ; NO_3^- en H_2O

In oplossing van kobalt(II)chloride zijn aanwezig als deeltjes: Co^{2+} ; Cl^- en H_2O

Uit T45A blijkt dat de combinatie van Ag^+ en Cl^- slecht oplosbaar is. Dus als deze bij elkaar gevoegd worden uit 2 verschillende oplossingen zullen ze samen een vast zout vormen. Daarbij zullen Ag^+ en Cl^- -ionen uit de oplossing verdwijnen en vast AgCl ontstaan. In RV:



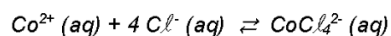
(Alle deeltjes die er ook zijn, maar niet verdwijnen of ontstaan komen NIET in een RV; dit worden ook wel de 'tribune-ionen' genoemd.)

In het practicum ga je ook gebruik maken van een oplossing van het gas waterstofchloride in water. Als waterstofchloride opgelost wordt in water, treedt er een reactie op.

4. Geef de reactievergelijking van de reactie van waterstofchloride met water én geef de naam van de oplossing die ontstaat.

$\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ naam van de oplossing die ontstaat: zoutzuur (DUS NIET "zoutzuur-oplossing")

Zoals in de inleiding beschreven, ga je het volgende evenwicht bestuderen in het practicum:



5. Stel de concentratiebreuk op van dit evenwicht én geef aan of dit een homogeen of een heterogeen evenwicht is.

$$\frac{[\text{CoCl}_4^{2-}]}{[\text{Co}^{2+}] \cdot [\text{Cl}^-]^4}$$

Dit is een homogeen evenwicht want alle deeltjes bevinden zich in dezelfde fase (de opgeloste fase hier)

In de 4^e klas heb je geleerd dat je een evenwicht op verschillende manieren kunt verstoren.

6. Geef 4 manieren waarop je een evenwicht kunt verstoren.

1. Temperatuurverandering
2. Toevoegen/verwijderen reactanten
3. Volume/drukverandering
4. concentratieverandering

Uitvoering


Je gaat dit practicum virtueel uitvoeren. Dat wil zeggen: je gaat dit online doen met een applet. De applet vind je op: (kopieer de URL eventueel naar de browser, als link niet werkt)
<http://chemcollective.org/vlab/85>

Onderzoeksvragen:

- Hoe kun je het genoemde evenwicht verstoren en verschuiven?
- Hoe kun je de verschuiving verklaren met het principe van Le Chatelier?

Onderdeel 1: klaar zetten van de opstelling

(vink ieder onderdeel af na uitvoeren)

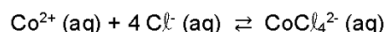
- 1. Ga naar het [virtuele lab](#) en zet de opstelling klaar zoals te zien is in afbeelding 2. Gebruik hierbij het volgende instructiefilmpje: [Instructiefilmpje klaar zetten practicum opstelling - YouTube](#)
- 2. Breng 90 mL CoCl_2 -oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Dit doe je door de erlenmeyer met de oplossing op de andere erlenmeyer te slepen en vervolgens 90 mL in te schenken (Pour ) en venster te sluiten (✕)
- 3. Als je de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen" aanklikt zie je bij de gegevens links dat er nog wel degelijk chloride-ionen aanwezig zijn. We begonnen immers met een CoCl_2 -oplossing. Temperatuur geeft 25 °C aan. De chloride-ionen gaan we allereerst laten neerslaan (zie voorbereidende vraag 3). Dit doen we met een zilvernitraatoplossing. **Er ontstaat dan de vaste stof zilverchloride en daarmee gaan de chloride-ionen uit de oplossing.**
- 4. Breng 30 mL AgNO_3 -oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Kijk wat er gebeurt met de temperatuur bij toevoegen! **Bij het toevoegen van de zilverionen ontstaat een reactie en zie je de temperatuur oplopen.** Wacht een tijdje tot de temperatuur weer 25 °C is. (Door even te wachten zal de warmte zich van de hogere naar de lagere temperatuur verplaatsen; dus van de erlenmeyer naar de grote omgeving.) Je ziet dan dat de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing ook niet meer veranderen. **Je moest wachten tot de temperatuur IN de erlenmeyer weer gelijk was aan de omgevingstemperatuur omdat vanaf dat moment de temperatuur weer constant zal blijven. De ligging van een evenwicht is namelijk ook afhankelijk van de temperatuur. Je wilt dat de temperatuur hier constant is, zodat dit geen factor is voor de evenwichtsligging.)** Maak nu de juiste keuzes in de volgende twee zinnen door het juiste te omcirkelen:
De temperatuur wordthoger / lager..... na toevoegen van de AgNO_3 -oplossing. Er is dus sprake van eenexotherme / endotherme..... reactie.
(De vraag gaat over de reactie, en niet over het weer afkoelen naar kamertemperatuur.)
- 5. Schrijf op welk volume nu in de erlenmeyer zit.

Het volume na toevoegen van de AgNO_3 -oplossing is 130,88 mL.

6. Je kunt vervolgens het ontstane neerslag verwijderen door met de rechtermuisklik te kiezen voor verwijder neerslag (**Remove Solid**). Merk op dat het volume nu 120 mL is (dit is ook te verwachten als je 90 mL en 30 mL samenvoegt)
7. Als je nu naar de gegevens kijkt van de erlenmeyer met de naam "kobaltoplossing zonder chloride-ionen" dan zie je dat er vrijwel geen chloride-ionen en CoCl_4^{2-} -ionen zijn. Dit is dus een mooie startoplossing voor dit experiment: we hebben nu dus vrijwel geen chloride-ionen meer, maar wel nog kobalt(II)ionen met water omringing: $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ ofwel $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ in de notatie van het virtuele lab. Merk op dat de kleur inderdaad roze is zoals je zou mogen verwachten (zie voorbereidende vraag 1).

Onderdeel 2: De invloed van een concentratieverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de *concentratie* van chloride-ionen te *veranderen*.



8. Vul de vier lege erlenmeyers allemaal met 20 mL van de kobaltoplossing zonder chloride-ionen.
9. Voeg vervolgens de juiste hoeveelheid zoutzuur toe (volgens beschrijving erlenmeyer); dus erlenmeyer #1 krijgt geen zoutzuur, #2 krijgt 10 mL, #3 krijgt 20 mL en #4 krijg 30 mL zoutzuur. Door het toevoegen van zoutzuur, verhoog je de concentratie van chloride-ionen.
10. Vul alle vier de erlenmeyers aan met demiwater (indien nodig) zodat het totale volume in alle vier de erlenmeyers 50 mL bedraagt.
11. Je hebt nu vier erlenmeyers gevuld met 50 mL oplossing, maar ze hebben allemaal een andere kleur en ook andere concentraties. Wanneer de temperatuur van de oplossingen in de erlenmeyers weer 25,0 °C is, is er sprake van evenwicht. **Vul dan onderstaande tabel in met 4 significante cijfers** en waar handig de wetenschappelijke notatie:

▼ tabel 1
resultaat onderdeel 2

| ion (aq) | Erlenmeyer 1 0 mL HCl-opl (concentratie in mol/L) | Erlenmeyer 2 10 mL HCl-opl (concentratie in mol/L) | Erlenmeyer 3 20 mL HCl-opl (concentratie in mol/L) | Erlenmeyer 4 30 mL HCl-opl (concentratie in mol/L) |
|----------------------|---|--|--|--|
| Co^{2+} | 0,3000 | 0,2775 | 0,1569 | $5,670 \cdot 10^{-2}$ |
| Cl^{-} | $5,4603 \cdot 10^{-6}$ | 2,310 | 4,228 | 6,227 |
| CoCl_4^{2-} | 0 | $2,254 \cdot 10^{-2}$ | 0,1431 | 0,2433 |

12. Bereken voor erlenmeyer 2 t/m 4 de waarde van de concentratiebreuk in 3 significante cijfers en daarmee dus de evenwichtsconstante.

Bij erlenmeyer 2 is de evenwichtsconstante K:

$$\frac{[2,25 \cdot 10^{-2}]}{[0,2775] \cdot [2,310]^2} = 2,85 \cdot 10^{-3}$$

Bij erlenmeyer 3 is de evenwichtsconstante K:

$$2,85 \cdot 10^{-3}$$

Bij erlenmeyer 4 is de evenwichtsconstante K:

$$2,85 \cdot 10^{-3}$$

Het verschil tussen erlenmeyers 2 t/m 4 is dat daar verschillende hoeveelheden Cl^- zijn toegevoegd aan een bestaand evenwicht.

Het evenwicht zal zich herstellen en de uitkomst van de concentratiebreuk zal weer gelijk worden aan de evenwichtsconstante die bij die temperatuur geldt.

Van erlenmeyer 2 naar 4 heb je steeds meer mL 12 M (!!!) chloride-oplossing toegevoegd. Je kunt in de tabel zien hoe het evenwicht daar op reageert: een gedeelte van de extra toegevoegde Cl^- is weer verdwenen na instelling van het evenwicht. Tijdelijk is de reactie naar rechts in het voordeel geweest.

13. Waarom kunnen we bij erlenmeyer 1 geen evenwichtsconstante uitrekenen?

Bij erlenmeyer 1 kunnen we geen evenwichtsconstante uitrekenen, omdat :

Er is alleen evenwicht als van alle reactanten een stabiele concentratie (groter dan nul) aanwezig is, want dan is de heengaande reactie even snel als de teruggaande reactie. Dat kan niet als er een reactant ontbreekt. In erlenmeyer 1 ontbreken de chloride-ionen.

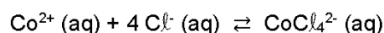
14. Van erlenmeyer 2 naar 4 heb je steeds meer chloride-ionen toegevoegd en daarmee het evenwicht verstoord. Volgens het principe van Le Chatelier reageert het evenwichtssysteem zodanig dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. Je kunt dus zeggen: (Maak nu de juiste keuzes in de volgende twee zinnen door het juiste te omcirkelen:)

Zie ook de alinea in rood vlak boven vraag 13.

*Het evenwichtssysteem gaat de verstoring (toevoegen van extra chloride-ionen) zoveel mogelijk tegen, dus wanneer je extra chloride-ionen toevoegt aan de oplossing, verschuift het evenwicht naarlinks / rechts..... . Door deze verschuiving wordt de concentratie van chloride-ionen duslager/hoger..... **ten opzichte van de oorspronkelijk toegevoegde concentratie chloride-ionen.***

Onderdeel 3: De invloed van een temperatuursverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de *temperatuur te veranderen*.



15. Neem erlenmeyer #2 en verwarm door de erlenmeyer op de brander te slepen. Schrijf je waarnemingen op.

Waarneming bij verwarmen van erlenmeyer #2: de kleur wordt blauwer

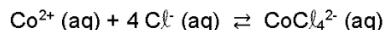
16. Neem de erlenmeyer weer van de brander en laat afkoelen. Schrijf wederom de waarnemingen op.

Waarneming bij afkoelen van erlenmeyer #2: de kleur wordt weer rozer

17. Bij het verhogen van de temperatuur zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. De endotherme reactie zal dan dus tijdelijk in het voordeel zijn. Je kunt nu dus zeggen: *Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naarlinks / rechts (want aan de kleur zie je dat er meer deeltjes zijn gevormd die voor de blauwe kleur zorgen; dit is $\text{CoCl}_4^{2-} (\text{aq})$, dus de reactie naarlinks / rechts..... isendotherm / exotherm..... (Bij temperatuurverhoging is de endotherme reactie in het voordeel en verschuift het evenwicht naar de endotherme kant. Let op: de waarde van de evenwichtsconstante verandert bij temperatuursverandering)*

Onderdeel 4: De invloed van een volumeverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de oplossing te *verdunnen*.



18. Verdun erlenmeyer #2 t/m 4 met water tot 100 mL. Je zult af en toe een nieuwe erlenmeyer met water moeten pakken uit de "Stockroom". Schrijf je waarnemingen op.

Waarneming bij verdunnen van erlenmeyer #2 t/m 4: de kleur van de oplossing in de erlenmeyer wordt rozer.

19. Bij het verdunnen van de oplossingen zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. *Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van deminste / meeste..... opgeloste deeltjes. Bij verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht hier dus op naarlinks / rechts..... Daarom verschuift de kleur naar roze (Links van de pijl staan 5 deeltjes en rechts maar 1.).*

Samenvattend: Een invloed laat het chemisch evenwicht zodanig verschuiven dat deze invloed wordt tegengewerkt. Dit is het principe van Le Chatelier.

Bijlage 3: Data analyse overzicht

| Leerling | Punten | Voorbereidende vragen | | | | | | Uitvoering | | | | | | | | | | | | | SOLO vraag 17 | SOLO vraag 19 | | | | | | | |
|----------|--------|-----------------------|---|---|---|---|---|------------|----|---|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|---------------|---------------|-----|-----|----|-----|-------------------|--------------------|--------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4a | 4b | 5 | 11 | 12a | 12b | 12c | 13 | 14a | 14b | 15 | 16 | 17a | | | 17b | 17c | 18 | 19a | 19b | 19c | |
| 1 | 47 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational |
| 2 | 43 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational |
| 3 | 39 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural |
| 4 | 30 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 5 | 30 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 6 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 7 | 41 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 8 | 38 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 9 | 45 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 10 | 42 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 11 | 45 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 5. Extended Abs | 3. Multistructural | |
| 12 | 32 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 13 | 38 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4. Relational | 3. Multistructura | |
| 14 | 29 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 15 | 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 16 | 21 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 17 | 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 4. Relational | 1. Prestructural | |
| 18 | 38 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2. Unistructural | 3. Multistructural | |
| 19 | 26 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 20 | 34 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 21 | 43 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1. Prestructural | 3. Multistructural | |
| 22 | 38 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 23 | 37 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 24 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 25 | 37 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 26 | 48 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 27 | 39 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2. Unistructural | 4. Relational |
| 28 | 33 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3. Multistructura | 2. Unistructural | |
| 29 | 39 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructura | 3. Multistructural | |
| 30 | 49 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 31 | 37 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4. Relational | 2. Unistructural | |
| 32 | 43 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 33 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 34 | 19 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1. Prestructural | 2. Unistructural | |
| 35 | 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 3. Multistructural | |
| 36 | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational | 4. Relational | |
| 37 | 30 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4. Relational | 2. Unistructural | |

Bijlage 4: Analyse vragen 17+19

| Leerling | 1 | 17a | 17b | 17c | SOLO vraag 17 |
|----------|---|-----|-----|-----|----------------------|
| 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 7 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 10 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 11 | 2 | 2 | 2 | 2 | 5. Extended Abstract |
| 12 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 13 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3. Multistructural |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 16 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 17 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 18 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2. Unistructural |
| 19 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 21 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1. Prestructural |
| 22 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 23 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 24 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 25 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3. Multistructural |
| 26 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 27 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2. Unistructural |
| 28 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3. Multistructural |
| 29 | 2 | 0 | 2 | 0 | 3. Multistructural |
| 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 31 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 32 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 33 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 34 | 0 | 2 | 2 | 0 | 1. Prestructural |
| 35 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 36 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 37 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |

| Leerling | 18 | 19a | 19b | 19c | SOLO vraag 19 |
|----------|----|-----|-----|-----|--------------------|
| 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 4 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 5 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 7 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 8 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 9 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 10 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 11 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 12 | 0 | 2 | 2 | 0 | 3. Multistructural |
| 13 | 0 | 2 | 2 | 0 | 3. Multistructural |
| 14 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 15 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 16 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3. Multistructural |
| 17 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1. Prestructural |
| 18 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 19 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 20 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3. Multistructural |
| 21 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 22 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 23 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 24 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2. Unistructural |
| 26 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 27 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2. Unistructural |
| 29 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 31 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2. Unistructural |
| 32 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 33 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 34 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2. Unistructural |
| 35 | 0 | 2 | 2 | 2 | 3. Multistructural |
| 36 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4. Relational |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2. Unistructural |

Bijlage 5: Brondocument

Ontwikkelen van een practicum (inleveren versie 2) - Bart Maes - EMS30 - juli 2020

Inhoud

| | |
|---|-------|
| 1. Inleiding | blz 1 |
| - doelgroep en voorkennis | blz 2 |
| 2. Leerlingenteksten versie 1 | blz 3 |
| - open variant | blz 3 |
| - gesloten variant | blz 4 |
| 3. Docenten/TOA handleiding versie 1 - gesloten variant | blz 7 |

Proloog bij deze tweede versie:

Ik heb de feedback van de docent verwerkt in onderstaande versie (zie blauwe tekst). Medestudent 1 was overwegend positief in haar feedback. Ze miste wel het nut: "Waarom zou ik dit als leerling willen doen? Waarvoor kan ik dit gebruiken of wat kan ik hiervan leren?". In een eerste reactie zeg ik: "omdat het gaaf is, uit verwondering; je kunt kleuren laten veranderen, cool". In een meer onderbouwde tweede reactie: om te leren hoe een evenwicht werkt en hoe je het evenwicht kun beïnvloeden. Welke factoren een rol spelen (concentratie, temperatuur). Verder vond medestudent 1 het een leuk practicum (om te kunnen doen online). Waar ze wel mee worstelt en waar ik ook mee worstel is met de open variant.... Wat kunnen de leerlingen (lees *sommige leerlingen*) nog aan, wanneer is het té gesloten of net té open (en té moeilijk). Dit is iets dat je in de loop der tijd moet leren aanvoelen. Heeft te maken met vlieguren maken, denk ik!

Ik heb dit practicum ook naar docenten van school X opgestuurd. Dit kreeg ik onder andere terug:

"Leuk practicum!"

"Ik wil [...] voorstellen dat de leerlingen (BM: *vwo 4-leerlingen*) hier misschien mee kunnen oefenen als wij evenwichten herhalen."

"Super! Echt een mooi practicum en het virtuele lab werkt ook makkelijk inderdaad."

"Wat ontzettend leuk."

Ook het feit dat de docent vraagt of ze het practicum mag delen met een collega uit haar docentenontwikkelteam die in de knoop zit met zijn evenwichtenpracticum voor havo 4 beschouw ik als een compliment 😊

1. Inleiding

Ik ben uitgegaan van een bestaand practicum uit de methode NOVA (ik meen VWO). Hierin wordt de volgende onderzoeksvraag gesteld:

Onderzoeksvraag

Hoe kun je het evenwicht $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CuCl}_4^{2-}(\text{aq})$ beïnvloeden?

Ik vond in een andere editie van deze methode (of in ieder geval een andere versie van dit practicum) de volgende onderzoeksvragen bij een vergelijkbaar practicum:

Onderzoeksvragen

1 Hoe beïnvloedt de chlorideconcentratie dit evenwicht?

2 Hoe wordt dit evenwicht door de temperatuur beïnvloedt?

Ik wilde dit practicum als leidraad gaan gebruiken voor mijn eigen versie 1. De reden dat ik voor dit practicum heb gekozen, is omdat men op school X mogelijk een andere invulling kan/wil geven aan onderstaande eis (uit de syllabus centraal examen 2020 scheikunde havo) dan dat tot op heden is gedaan. De eis is als volgt:

Domein C: Kennis van chemische processen en kringlopen

Subdomein C4: Chemisch evenwicht

24. De kandidaat kan bij experimenten metingen doen aan concentraties en energiewisseling en berekenen of er sprake is van evenwicht en hoe de ligging van het evenwicht kan worden beïnvloed.

Een practicum met daarin het evenwicht van $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CuCl}_4^{2-}(\text{aq})$ zou daar uitermate geschikt voor zijn.

Toen kwam er opeens de wereldwijde crisis van het nieuwe corona-virus en de daardoor veroorzaakte ziekte COVID-19. Onderwijs kon, door de hierop volgende maatregelen, niet meer plaatsvinden op de TU/e. Het gezamenlijk uitproberen van de eerste versies van het practicum op 1 april 2020 ging dus ook niet meer plaatsvinden. Dit bood me de kans om het practicum om te schrijven naar een ander complex ion, namelijk $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$, en het practicum te ontsluiten middels een virtueel lab. Ik ben benieuwd naar jullie ervaringen hiermee 😊

Doelgroep en voorkennis

Het practicum is bedoeld voor havo 4-leerlingen eind dit schooljaar. Ze hebben dan al kennis gemaakt met H5 en H6 van Chemie Overal 4 havo (5^e editie) waarin ze de volgende onderdelen hebben geleerd:

H5 Zouten en zoutoplossingen

- samengestelde ionen (bijv. HCO_3^-) en ze zijn in een opgave bijvoorbeeld ook UO_2^{2+} tegengekomen.
 - systematische naam en verhoudingsformule van zouten.
 - hydratatie van een ion. Het kobalt(II)ion wordt in opgeloste vorm dus omringd door watermoleculen. Dat dit weer te geven is als $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ kunnen ze aannemen en er vervolgens mee werken, lijkt me.
 - oplosvergelijkingen en indampvergelijkingen
 - NIET BEHANDELD: neerslagreacties en neerslagvergelijkingen zijn niet verplicht voor havo. Dit hebben de leerlingen dan ook niet gehad. Ik schat in dat (sommige) leerlingen de reactievergelijking wel kunnen opstellen met de informatie die ik gegeven heb ik het practicum.
- Bovenstaande punten beschouwend zouden ze dus overweg moeten kunnen met het complexe ion $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ zoals het gebruikt is in de opgave.

H6 Koolstofchemie

- §6.5 evenwichten
- chemisch evenwicht
- evenwichtsreacties
- dynamisch evenwicht
- ligging van het evenwicht
- een evenwicht aflopend maken
- NIET BEHANDELD: concentratiebreuk en evenwichtsvoorwaarde zijn niet verplicht voor havo. Dit hebben de leerlingen dan ook niet gehad. Is ook niet nodig voor dit practicum

Overig

- de leerlingen hebben molariteit (M) van een oplossing gehad tijdens een practicum en ze weten dat de eenheid molair ofwel mol/L is

Wat de leerlingen tot nog toe hebben geleerd bij H5 en H6 kunnen ze nu gaan toepassen bij onderstaande practicum. Door dit practicum wordt de eis vanuit de syllabus voldoende afgedekt (mijns inziens).

2. Leerlingenteksten versie 1

Experiment Complexe ionen – Open variant

Inleiding

Je hebt de beschikking over een kobalt(II)chloride-oplossing, een zilvernitraat-oplossing, geconcentreerd zoutzuur en demiwater. De kobalt(II)ionen en chloride-ionen vormen samen een complex ion, namelijk CoCl_4^{2-} (aq). Dit ion heeft een blauwe kleur. Kobalt(II)ionen hebben een rose kleur. Er ontstaat een evenwichtsreactie tussen enerzijds kobalt(II)- en chloride-ionen en anderzijds het complexe ion CoCl_4^{2-} (aq).

Onderzoeksvraag

Onderzoek hoe je dit evenwicht kunt beïnvloeden. De volgende stappen zul je nodig hebben:

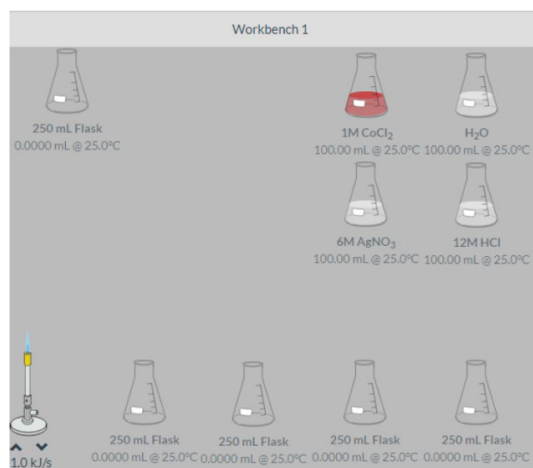
- welke reactievergelijking kun je opstellen bij dit evenwicht?
- hoe kun je dit evenwicht beïnvloeden? Welke stoffen heb je tot je beschikking om invloed uit te oefenen op dit evenwicht? (TIP: kijk goed naar het evenwicht en de practicumopstelling die gegeven is)

Schrijf daarna een proefbeschrijving voor je klasgenoten voor een écht practicum.

Gebruik voor bovenstaande opdracht het virtueel lab “Cobalt Chloride and LeChatlier’s Principle” (Chem Collective)

<http://chemcollective.org/vlab/85>

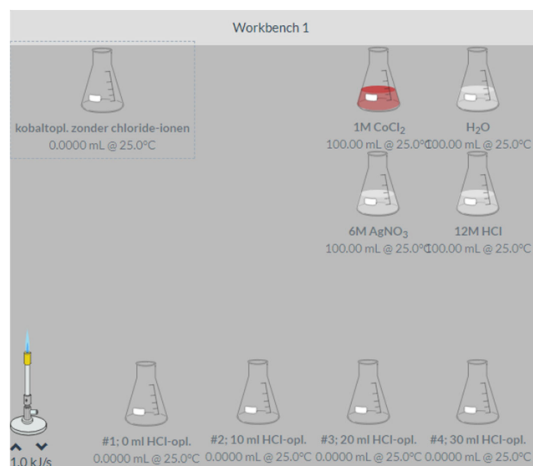
Bouw allereerst onderstaande practicumopstelling na (afbeelding 1) en ga dan aan de slag.



Opmerking bij het virtuele lab

- Waar wij Co^{2+} (aq) noteren, gebruikt Chem Collective de notatie $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ (aq). Dit is een andere notatie voor hetzelfde ion. Het opgeloste kobalt(II)ion wordt namelijk omringd door watermoleculen.
- Chem collective gebruikt bij het aangeven van de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing de grootheid "Molarity" waar wij gewend zijn om concentratie te gebruiken. Dit is hetzelfde en de eenheid is in mol/L.
- In de proef wordt gebruik gemaakt van 12 molair zoutzuur (12M HCl). In hoofdstuk 7 zul je leren dat dit een oplossing is met 12 mol L^{-1} chloride-ionen (Cl^- - ionen). Er zitten dus chloride-ionen in deze oplossing.

-¹ In de proef wordt gebruik gemaakt van 12 molair zoutzuur (12M HCl). In hoofdstuk 7 zul je leren dat dit een oplossing is met 12 mol L⁻¹ chloride-ionen (Cl⁻ - ionen). Er zitten dus chloride-ionen in deze oplossing.



▲ afbeelding 2
 practicumopstelling tijdens practicum

Uitvoering

Deel 1: verschillende kleuren maken

- 1. Zet de virtuele opstelling klaar zoals te zien is in afbeelding 2
- 2. Merk op dat de namen van verschillende erlenmeyers een andere naam hebben gekregen. Doe dit zelf ook door middel van rechtermuisklik op de erlenmeyers en de naam te wijzigen (**Rename**)
- 3. Breng 90 mL CoCl₂-oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Dit doe je door de erlenmeyer met de oplossing op de andere erlenmeyer te slepen en vervolgens 90 mL in te schenken (**Pour**) en venster te sluiten (**X**)
- 4. Als je de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen" aanklikt zie je bij de gegevens links dat er nog wel degelijk chloride-ionen aanwezig zijn. We begonnen immers met een CoCl₂-oplossing. Temperatuur geeft 25 °C aan. De chloride-ionen gaan we allereerst laten neerslaan. Dit doen we met een zilvernitraatoplossing. Er ontstaat dan de vaste stof zilverchloride en daarmee gaan de chloride-ionen uit de oplossing (zie Binas tabel 45A).
- 5. Breng 30 mL AgNO₃-oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Kijk wat er gebeurt met de temperatuur bij toevoegen! Wacht een tijdje tot de temperatuur weer 25 °C is. Je ziet dat dan de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing ook niet meer veranderen.
- 6. Schrijf op welk volume nu in de erlenmeyer zit. Je kunt vervolgens het ontstane neerslag verwijderen door met de rechtermuisklik te kiezen voor verwijder neerslag (**Remove Solid**). Merk op dat het volume nu 120 mL is (dit is ook te verwachten als je 90 mL en 30 mL samenvoegt)
- 7. Als je nu naar de gegevens kijkt van de erlenmeyer met de naam "kobaltoplossing zonder chloride-ionen" dan zie je dat er vrijwel geen chloride-ionen en CoCl₂-ionen zijn. Dit is dus een mooie startoplossing voor dit experiment: we hebben nu dus **geen chloride-ionen meer, maar wel**

nog kobalt(II)ionen met water omringing: $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ ofwel $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ in de notatie van het virtuele lab. Merk op dat de kleur inderdaad rose is.

- 8. Vul de vier lege erlenmeyers allemaal met 20 mL van deze kobaltoplossing zonder chloride-ionen.
- 9. Voeg vervolgens de juiste hoeveelheid zoutzuur toe (volgens beschrijving erlenmeyer); dus erlenmeyer #1 krijgt geen zoutzuur, #2 krijgt 10 mL, #3 krijgt 20 mL en #4 krijg 30 mL zoutzuur.
- 10. Vul alle vier de erlenmeyers aan met demiwater (indien nodig) zodat het totale volume in alle vier de erlenmeyers 50 mL bedraagt.
- 11. Je hebt nu vier erlenmeyers gevuld met 50 mL oplossing, maar ze hebben allemaal een andere kleur en ook andere concentraties. Vul onderstaande tabel in met 2 decimale cijfers en waar handig wetenschappelijke notatie:

▼ tabel 1
resultaat deel 1 practicum

| ion (aq) | Erlenmeyer 1 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 2 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 3 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 4 (concentratie mol/L) |
|--|---|---|---|---|
| $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ | | | | |
| Cl^- | | | | |
| CoCl_4^{2-} | | | | |

Deel 2: effect temperatuur op evenwicht

- 12. neem erlenmeyer #2 en verwarm door de erlenmeyer op de brander te slepen. Schrijf je waarnemingen op.
- 13. neem de erlenmeyer weer van de brander en laat afkoelen. Schrijf wederom de waarnemingen op.

Deel 3: reactie aflopend maken naar links

- 14. neem erlenmeyer #4 en voeg 60 mL zilvernitraatoplossing toe. Noteer je waarnemingen.
- 15. Ook nu heb je een groter volume dan je zou verwachten op grond van de twee samengevoegde oplossingen. Verwijder het neerslag en noteer je nieuwe volume. Klopt het volume met wat je verwacht?

Resultaten

Noteer al je waarnemingen.

Verwerking

- 1 Leg uit waarom de kleur van de oplossing verandert als de concentratie van chloride-ionen steeds hoger wordt.
- 2 Verklaar de kleurverandering bij verwarmen.
- 3 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt na toevoegen van de zilvernitraatoplossing.
- 4 Verklaar de kleurverandering van de oplossing na toevoegen van de zilvernitraatoplossing.

Conclusie

- 5 Beantwoord de onderzoeksvragen.

3. Docenten/TOA handleiding versie 1 – gesloten variant

kobaltopl. zonder chloride-ionen
0.0000 mL @ 25.0°C

1M CoCl_2
100.00 mL @ 25.0°C

H_2O
100.00 mL @ 25.0°C

6M AgNO_3
100.00 mL @ 25.0°C

12M HCl
100.00 mL @ 25.0°C

1.0 kJ/s

#1: 0 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

#2: 10 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

#3: 20 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

#4: 30 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

kobaltopl. zonder chloride-ionen
120.00 mL @ 25.0°C

1M CoCl_2
10.000 mL @ 25.0°C

H_2O
100.00 mL @ 25.0°C

6M AgNO_3
70.000 mL @ 25.0°C

12M HCl
100.00 mL @ 25.0°C

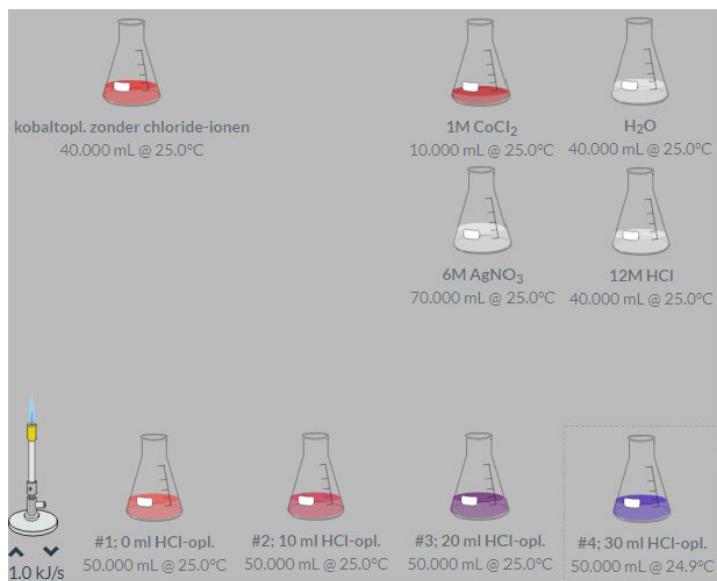
1.0 kJ/s

#1: 0 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

#2: 10 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

#3: 20 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C

#4: 30 ml HCl-opl. 0.0000 mL @ 25.0°C



| Name: #1: 0 ml HCl-opl. Volume: 50.000 ml | | Name: #2: 10 ml HCl-opl. Volume: 50.000 mL | | Name: #3: 20 ml HCl opl. Volume: 50.000 ml | | Name: #4: 30 ml HCl-opl. Volume: 50.000 ml | |
|---|---------------|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
| Species (aq) | Molarity | Species (aq) | Molarity | Species (aq) | Molarity | Species (aq) | Molarity |
| H ⁺ | 2.40000 | H ⁺ | ~ 0 | H ⁺ | 4.60000 | H ⁺ | 7.20000 |
| OH ⁻ | ~ 0 | OH ⁻ | ~ 0 | OH ⁻ | ~ 0 | OH ⁻ | ~ 0 |
| Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0.277456 | Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0.277456 | Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0.156915 | Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0.0566970 |
| Cl ⁻ | 0.00000546027 | Cl ⁻ | 2.30982 | Cl ⁻ | 4.29786 | Cl ⁻ | 6.22679 |
| CoCl ₄ ²⁻ | 0.0225444 | CoCl ₄ ²⁻ | 0.0225444 | CoCl ₄ ²⁻ | 0.140005 | CoCl ₄ ²⁻ | 0.243303 |
| Ag ⁺ | 8.06732e-11 | Ag ⁺ | 8.06732e-11 | Ag ⁺ | 4.40766e-11 | Ag ⁺ | 2.99257e-11 |
| NO ₃ ⁻ | 0.600000 | NO ₃ ⁻ | 0.600000 | NO ₃ ⁻ | 0.600000 | NO ₃ ⁻ | 0.600000 |

▼ tabel 2
resultaat deel 1 practicum

| ion (aq) | Erlenmeyer 1 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 2 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 3 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 4 (concentratie mol/L) |
|---|---|---|---|---|
| Co(H ₂ O) ₆ ²⁺ | 0,30 | 0,28 | 0,16 | 5,7·10 ⁻² |
| Cl ⁻ | 5,5·10 ⁻⁶ | 2,3 | 4,2 | 6,2 |
| CoCl ₄ ²⁻ | ~ 0 | 2,3·10 ⁻² | 0,14 | 0,24 |

kobaltopl. zonder chloride-ionen
40.000 mL @ 25.0°C

1M CoCl_2
10.000 mL @ 25.0°C

H_2O
40.000 mL @ 25.0°C

#2; 10 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 100°C

6M AgNO_3
70.000 mL @ 25.0°C

12M HCl
40.000 mL @ 25.0°C

#1; 0 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

1.0 kJ/s

#3; 20 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#4; 30 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

kobaltopl. zonder chloride-ionen
40.000 mL @ 25.0°C

1M CoCl_2
10.000 mL @ 25.0°C

H_2O
40.000 mL @ 25.0°C

6M AgNO_3
10.000 mL @ 25.0°C

12M HCl
40.000 mL @ 25.0°C

1.0 kJ/s

#1; 0 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#2; 10 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#3; 20 ml HCl-opl.
50.000 mL @ 25.0°C

#4; 30 ml HCl-opl.
110.00 mL @ 25.0°C

Uitwerkingen:**Resultaten**

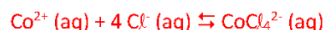
Noteer al je waarnemingen.

Verwerking

1 Verklaar aan de hand van de kleurverandering wat de invloed is op het evenwicht van de steeds hogere chlorideconcentratie.

Antwoord:

De evenwichtsreactie is:



rose blauw

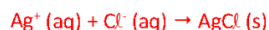
Bij het experiment zien we dat we een rose kleur hebben als we géén chloride-ionen in oplossing hebben. Als we vervolgens chloride-ionen gaan toevoegen (middels het zoutzuur) dan zien we dat de kleur gaat veranderen. Hoe meer chloride-ionen er in de oplossing komen, hoe meer de kleur verandert naar blauw. Meer chloride-ionen zorgt er dus voor dat het evenwicht naar de rechterkant verschuift. Er is dan meer $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ aanwezig en dat zorgt voor de steeds blauwere kleur.

2 Verklaar de kleurverandering bij verwarmen.

Antwoord:

Bij verwarmen verandert de kleur van rose naar blauw. Blijkbaar zorgt verwarmen ervoor dat de concentratie van $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ oploopt en er minder $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ en $\text{Cl}^{-}(\text{aq})$ overblijven in oplossing. Met het verhogen van de temperatuur verschuift het evenwicht dus naar rechts. Wanneer de oplossing weer afkoelt, zie je de kleur weer terug veranderen van blauw naar rose. Blijkbaar verschuift het evenwicht dan weer naar links. **NB havo leerlingen hoeven de evenwichtsvoorwaarde en de evenwichtsconstante K niet te kennen. Ook hoeven ze niet te weten naar welke kant het evenwicht opschuift bij hogere temperatuur.**

3 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt na toevoegen van de zilvernitraatoplossing.

Antwoord:

NB havo leerlingen hoeven neerslagreacties en neerslagvergelijkingen niet te kennen, maar met de gegevens uit de tekst ("De chloride-ionen gaan we allereerst laten neerslaan. Dit doen we met een zilvernitraatoplossing. Er ontstaat dan de vaste stof zilverchloride en daarmee gaan de chloride-ionen uit de oplossing"), zouden ze dit wellicht toch kunnen opstellen als inzichtsvraag.

4 Verklaar de kleurverandering van de oplossing na toevoegen van de zilvernitraatoplossing.

Antwoord:

Bij het toevoegen van de zilvernitraatoplossing aan de blauwe oplossing hebben we gezien dat alle chloride-ionen uit de oplossing gaan (ze slaan neer in het zout AgCl). Door er voor te zorgen dat er minder chloride-ionen in oplossing zijn, gaat het evenwicht naar links opschuiven en de kleur zal daarmee dus rose worden. Er is dan namelijk geen $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ meer aanwezig, dus ook geen blauwe kleur.

Conclusie

5 Beantwoord de onderzoeksvragen.

1 Hoe beïnvloedt de chlorideconcentratie het evenwicht $\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{Cl}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$?

Antwoord:

Hoe minder chloride-ionen hoe meer het evenwicht links ligt.

Hoe meer chloride-ionen hoe meer het evenwicht rechts ligt.

2 Hoe wordt dit evenwicht door de temperatuur beïnvloedt?

Antwoord:

Bij hogere temperatuur ligt het evenwicht meer naar rechts.

Bij lagere temperatuur ligt het evenwicht meer naar links.

Bijlage 6: Prototype 0 + feedback

Virtueel practicum evenwichten met complexe ionen

Leerdoel

- Opfrissen kennis evenwichten (module 4 van 4^e klas) en hiermee oefenen
- Meer specifiek ga je oefenen met het verstoren en verschuiven van evenwichten en het verklaren van de verschuiving met het principe van Le Chatelier.
- Daarnaast ga je rekenen aan evenwichten

Vorbereiding

- Weet je van jezelf dat je de theorie van evenwichten niet zo goed (meer) beheerst, bestudeer dan H2 en H3 van module 4 van de 4^e klas nogmaals.
- Lees de onderstaande inleiding en maak vervolgens de voorbereidende vragen.

Inleiding

In de 4^e klas heb je in module 4 geleerd dat er bij scheikundige reacties vaak sprake is van omkeerbare reacties. Dit wil zeggen dat de heengaande reactie plaatsvindt (beginstoffen naar reactieproducten), maar dat tegelijkertijd ook de teruggaande reactie zal plaatsvinden (reactieproducten weer terug naar beginstoffen). Op een gegeven moment zal de reactiesnelheid van beide reacties gelijk zijn. We spreken dan van **chemisch evenwicht**. De concentraties van de stoffen die betrokken zijn bij de reactie veranderen dan niet meer (macroniveau). Realiseer je wel dat er op microniveau echter nog steeds stoffen omgezet en gevormd worden. Het chemisch evenwicht geven we weer in een **evenwichtsvergelijking** met een **dubbele pijl**. Vanuit deze vergelijking heb je geleerd een **concentratiebreuk (Q)** op te stellen en dat je daarbij te maken kunt hebben met ofwel een **homogeen** ofwel een **heterogeen** evenwicht. Wanneer er sprake is van een evenwicht, is de concentratiebreuk gelijk aan de **evenwichtsconstante (K)**. Bij evenwicht geldt dus **$Q = K$** . De evenwichtsconstante geldt voor een reactie bij een bepaalde temperatuur. De evenwichtsconstante is dus *niet* afhankelijk van **de concentraties van de stoffen, maar *alleen*** afhankelijk van de temperatuur. Verder leerde je dat bij evenwichten soms kunt spreken van de ligging van het evenwicht, bijvoorbeeld "het evenwicht ligt links" als je het hebt over het oplossen van een zout dat slecht oplosbaar is.

Na deze introductie van het onderwerp evenwichten leerde je dat je evenwichten ook kunt **laten** verschuiven. Je doet dit door **de omstandigheden die het evenwichtssysteem had te veranderen**. We zeggen dan dat we het evenwicht '*verstoren*'. Via het **principe van Le Chatelier** kun je vervolgens beredeneren hoe de verstoring van het evenwicht zal leiden tot

Met opmerkingen [TS1]: Ik zou het niet zo formuleren, kan enigszins verwarrend zijn voor leerlingen omdat ze ook vergelijken met de concentratiebreuk (waarin weliswaar verschillende concentraties kunnen voorkomen die toch een uitkomst geven van de breuk die gelijk is aan K). Ik zou zeggen dat de evenwichtsconstante niet afhankelijk is van de beginhoeveelheid stoffen (deeltjes) waarmee het instellen van het evenwicht begint.

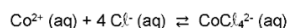
heeft opmaak toegepast: Markeren

een nieuw evenwicht. In dit virtuele practicum ga je een evenwicht bestuderen en ga je onderzoeken hoe je dit evenwicht kunnen verstoren en **verschuivenhoe het vervolgens verschuift**. De waarnemingen die volgen op een verstoring ga je verklaren met het principe van Le Chatelier.

Het evenwicht dat je gaat bestuderen in dit practicum is het evenwicht tussen aan de ene kant opgeloste kobalt(II)ionen en chloride-ionen en aan de andere kant het opgeloste, complex ion CoCl_4^{2-} .

Wanneer kobalt(II)ionen opgelost zijn in water, dan zijn ze omgeven door watermoleculen. We zeggen dan dat de kobalt(II)ionen **gehydrateerd** zijn en dat noteren we als $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$. Dat is dan eigenlijk een omringing met watermoleculen. Gehydrateerde kobalt(II)ionen geven het water een roze kleur. Maar een andere omringing is ook mogelijk. Zo kunnen kobalt(II)ionen ook omringd zijn met chloride-ionen. Dat noem je een complex ion. De formule van dit complex ion is CoCl_4^{2-} . Het complex ion $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ geeft het water een blauwe kleur.

Evenwichten spelen bij de vorming van complexe ionen een belangrijke rol. Wanneer kobalt(II)ionen en chloride-ionen namelijk samen in oplossing aanwezig zijn, zal een evenwicht optreden. We kunnen hier de volgende evenwichtsvergelijking voor opstellen:



Afhankelijk van de ligging van dit evenwicht krijgt de oplossing een bepaalde kleur. Zo kun je verschillende kleuren maken (zie afbeelding 1).



▲ afbeelding 1
kleuren bij verschillende chlorideconcentraties

Vorbereidende vragen

Zoals je hierboven hebt kunnen lezen, kun je met dit evenwicht oplossingen met verschillende kleuren krijgen.

1. Welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht links ligt? En welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht rechts ligt? (Gebruik hierbij de tekst uit de inleiding.)
.....

Een oplossing van kobalt(II)ionen en chloride-ionen kun je verkrijgen door het oplossen van kobalt(II)chloride in water.

2. Geef de **oplosvergelijking** van het oplossen van kobalt(II)chloride
.....

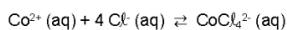
Door het toevoegen van een oplossing van zilvernitraat kun je de chloride-ionen uit de oplossing halen. Je maakt dan gebruik van het verschil in oplosbaarheid van zouten zoals in BINAS tabel 45A gegeven. De reactie die dan optreedt, noemen we een **neerslagreactie**.

3. Geef de vergelijking van de neerslagreactie die optreedt als een oplossing van zilvernitraat wordt toegevoegd aan de oplossing van kobalt(II)chloride.
.....

In het practicum ga je ook gebruik maken van een oplossing van het gas waterstofchloride in water. Als waterstofchloride opgelost wordt in water, treedt er een reactie op.

4. Geef de reactievergelijking van de reactie van waterstofchloride met water én geef de naam van de oplossing die ontstaat.
.....
.....

Zoals in de inleiding beschreven, ga je het volgende evenwicht bestuderen in het practicum:



5. Stel de concentratiebreuk op van dit evenwicht én geef aan of dit een homogeen of een heterogeen evenwicht is.
.....
.....

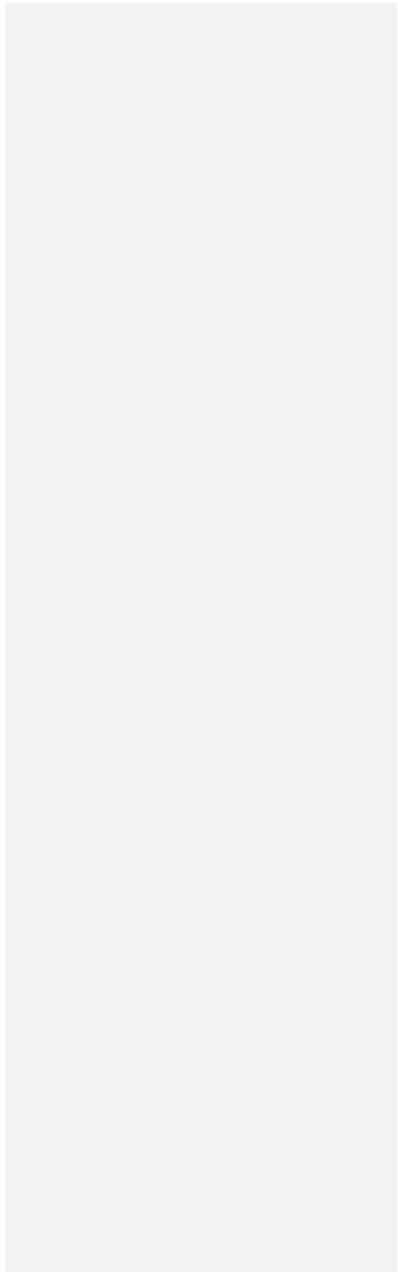
In de 4^e klas heb je geleerd dat je een evenwicht op verschillende manieren kunt verstoren.

6. Geef 4 manieren waarop je een evenwicht kunt verstoren

1.
2.
3.
4.

Uitvoering

Opmerking Bart: vanuit hier kan ik voor een groot gedeelte mijn practicum dat ik al had gemaakt gaan gebruiken. Ik ga hier verder mee aan de slag...



Bijlage 7: Prototype 1 + feedback

Virtueel practicum evenwichten met complexe ionen

Leerdoel

- Opfrissen kennis evenwichten (module 4 van 4^e klas) en hiermee oefenen
- Meer specifiek ga je oefenen met het verstoren en verschuiven van evenwichten en het verklaren van de verschuiving met het principe van Le Chatelier.
- Daarnaast ga je rekenen aan evenwichten

Vorbereiding

- Weet je van jezelf dat je de theorie van evenwichten niet zo goed (meer) beheerst, bestudeer dan H2 en H3 van module 4 van de 4^e klas nogmaals.
- Lees de onderstaande inleiding en maak vervolgens de voorbereidende vragen.

Inleiding

In de 4^e klas heb je in module 4 geleerd dat er bij scheikundige reacties vaak sprake is van omkeerbare reacties. Dit wil zeggen dat de heengaande reactie plaatsvindt (beginstoffen naar reactieproducten), maar dat tegelijkertijd ook de teruggaande reactie zal plaatsvinden (reactieproducten weer terug naar beginstoffen). Op een gegeven moment zal de reactiesnelheid van beide reacties gelijk zijn. We spreken dan van **chemisch evenwicht**. De concentraties van de stoffen die betrokken zijn bij de reactie veranderen dan niet meer (macroniveau). Realiseer je wel dat er op microniveau echter nog steeds stoffen omgezet en gevormd worden. Het chemisch evenwicht geven we weer in een **evenwichtsvergelijking** met een **dubbele pijl**. Vanuit deze vergelijking heb je geleerd een **concentratiebreuk (Q)** op te stellen en dat je daarbij te maken kunt hebben met ofwel een **homogeen** ofwel een **heterogeen** evenwicht. Wanneer er sprake is van een evenwicht, is de concentratiebreuk gelijk aan de **evenwichtsconstante (K)**. Bij evenwicht geldt dus **Q = K**. De evenwichtsconstante geldt voor een reactie bij een bepaalde temperatuur. De evenwichtsconstante is dus *niet* afhankelijk van de beginhoeveelheid van de stoffen (deeltjes) waarmee het instellen van het evenwicht begint, maar *alleen* afhankelijk van de temperatuur. Verder leerde je dat bij evenwichten soms kunt spreken van de ligging van het evenwicht, bijvoorbeeld "het evenwicht ligt links" als je het hebt over het oplossen van een zout dat slecht oplosbaar is.

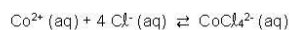
Na deze introductie van het onderwerp evenwichten leerde je dat je evenwichten ook kunt laten verschuiven. Je doet dit door de omstandigheden die het evenwichtssysteem had te veranderen. We zeggen dan dat we het evenwicht '*verstoren*'. Via het **principe van Le**

Chatelier kun je vervolgens beredeneren hoe de verstoring van het evenwicht zal leiden tot een nieuw evenwicht. In dit virtuele practicum ga je een evenwicht bestuderen en ga je onderzoeken hoe je dit evenwicht kunt verstoren en hoe het vervolgens verschuift. De waarnemingen die volgen op een verstoring ga je verklaren met het principe van Le Chatelier.

Het evenwicht dat je gaat bestuderen in dit practicum is het evenwicht tussen aan de ene kant opgeloste kobalt(II)ionen en chloride-ionen en aan de andere kant het opgeloste, complex ion CoCl_4^{2-} .

Wanneer kobalt(II)ionen opgelost zijn in water, dan zijn ze omgeven door watermoleculen. We zeggen dan dat de kobalt(II)ionen **gehydrateerd** zijn en dat noteren we als $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$. Dat is dan eigenlijk een omringing met watermoleculen. Gehydrateerde kobalt(II)ionen geven het water een roze kleur. Maar een andere omringing is ook mogelijk. Zo kunnen kobalt(II)ionen ook omringd zijn met chloride-ionen. Dat noem je een complex ion. De formule van dit complex ion is CoCl_4^{2-} . Het complex ion $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq})$ geeft het water een blauwe kleur.

Evenwichten spelen bij de vorming van complexe ionen een belangrijke rol. Wanneer kobalt(II)ionen en chloride-ionen namelijk samen in oplossing aanwezig zijn, zal een evenwicht optreden. We kunnen hier de volgende evenwichtsvergelijking voor opstellen:



Afhankelijk van de ligging van dit evenwicht krijgt de oplossing een bepaalde kleur. Zo kun je verschillende kleuren maken (zie afbeelding 1).



▲ afbeelding 1
kleuren bij verschillende chlorideconcentraties

Voorbereidende vragen

Zoals je hierboven hebt kunnen lezen, kun je met dit evenwicht oplossingen met verschillende kleuren krijgen.

1. Welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht links ligt? En welke kleur heeft de oplossing als het genoemde evenwicht rechts ligt? (Gebruik hierbij de tekst uit de inleiding.)

Kleur evenwicht links: *Kleur evenwicht rechts:*

Een oplossing van kobalt(II)ionen en chloride-ionen kun je verkrijgen door het oplossen van kobalt(II)chloride in water.

2. Geef de **oplosvergelijking** van het oplossen van kobalt(II)chloride

.....

Door het toevoegen van een oplossing van zilvernitraat kun je de chloride-ionen uit de oplossing halen. Je maakt dan gebruik van het verschil in oplosbaarheid van zouten zoals in BINAS tabel 45A gegeven. De reactie die dan optreedt, noemen we een **neerslagreactie**.

3. Geef de vergelijking van de neerslagreactie die optreedt als een oplossing van zilvernitraat wordt toegevoegd aan de oplossing van kobalt(II)chloride.

.....

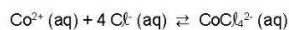
In het practicum ga je ook gebruik maken van een oplossing van het gas waterstofchloride in water. Als waterstofchloride opgelost wordt in water, treedt er een reactie op.

4. Geef de reactievergelijking van de reactie van waterstofchloride met water én geef de naam van de oplossing die ontstaat.

.....

.....

Zoals in de inleiding beschreven, ga je het volgende evenwicht bestuderen in het practicum:



5. Stel de concentratiebreuk op van dit evenwicht én geef aan of dit een homogeen of een heterogeen evenwicht is.

.....

.....

In de 4^e klas heb je geleerd dat je een evenwicht op verschillende manieren kunt verstoren.

6. Geef 4 manieren waarop je een evenwicht kunt verstoren

1. 3.

2. 4.

Met opmerkingen [TS1]: Ik zou dit omdraaien om te checken dat leerlingen goed lezen en niet in het plaatje hierboven kijken.

Uitvoering

Je gaat dit practicum virtueel uitvoeren. Dat wil zeggen: je gaat dit online doen met een applet. De applet vind je op:

<http://chemcollective.org/lab/85>

Met opmerkingen [TS2]: Als ik deze link aanklik krijg ik de melding dat ik een app zou moeten zoeken in the store. Als ik de link in MS Edge plak, dan geen probleem. Misschien aangeven dat ze dus de url in de browser moeten plakken.

Onderzoeksvragen:

- Hoe kun je het genoemde evenwicht verstoren en verschuiven?
- Hoe kun je de verschuiving verklaren met het principe van Le Chatelier?

In het virtuele lab gebruik je uit de "Stockroom" de volgende materialen:

Solutions:

demiwater (*H₂O distilled water*)

1 molair kobalt(II)chloride-oplossing (*1M CoCl₂*)

12 molair zoutzuur (*12M HCl*)

6 molair zilvernitraat-oplossing (*6M AgNO₃*)

Glassware, Erlenmeyers:

250 mL erlenmeyers (*250 mL Flask*)

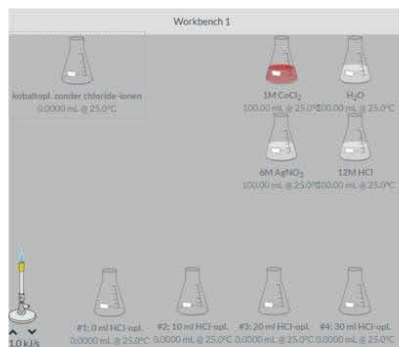
Tools:

Brander (*Bunsen burner*)

Opmerking bij het virtuele lab

- Waar wij $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ noteren, gebruikt Chem Collective de notatie $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$. Dat is de eerder genoemde omringing door watermoleculen. Dit is dus hetzelfde.
- Chem Collective gebruikt bij het aangeven van de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing de grootheid "Molarity" waar wij gewend zijn om concentratie te gebruiken. De eenheid is in beide gevallen in mol/L.

Met opmerkingen [TS3]: Spatie weggehaald voor (aq)



▲ afbeelding 2
 practicumopstelling tijdens practicum

Onderdeel 1: klaar zetten van de opstelling

(vink ieder onderdeel af na uitvoeren)

1. Ga naar het [virtuele lab](#) en zet de virtuele opstelling klaar zoals te zien is in afbeelding 2.

Gebruik hierbij het volgende instructiefilmpje: [instructiefilm klaarzetten practicumopstelling](#)

Met opmerkingen [T54]: Hyperlinks werken niet bij mij (schoollaptop)

2. Breng 90 mL CoCl_2 -oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Dit doe je door de erlenmeyer met de oplossing op de andere erlenmeyer te slepen en vervolgens 90 mL in te schenken (Pour ) en venster te sluiten (X)

3. Als je de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen" aanklikt zie je bij de gegevens links dat er nog wel degelijk chloride-ionen aanwezig zijn. We begonnen immers met een CoCl_2 -oplossing. Temperatuur geeft 25 °C aan. De chloride-ionen gaan we allereerst laten neerslaan (zie *voorbereidende vraag 3*). Dit doen we met een zilvernitraatoplossing. Er ontstaat dan de vaste stof zilverchloride en daarmee gaan de chloride-ionen uit de oplossing.

4. Breng 30 mL AgNO_3 -oplossing over in de erlenmeyer met naam "kobaltopl. zonder chloride-ionen". Kijk wat er gebeurt met de temperatuur bij toevoegen! Wacht een tijdje tot de temperatuur weer 25 °C is. Je ziet dan dat de concentraties van de verschillende ionen in de oplossing ook niet meer veranderen.

De temperatuur wordthoger / lager..... na toevoegen van de AgNO_3 -oplossing. Er is dus sprake van eenexotherme / endotherme..... reactie.

5. Schrijf op welk volume nu in de erlenmeyer zit.

Het volume na toevoegen van de AgNO_3 -oplossing is mL.

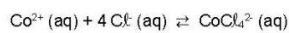
6. Je kunt vervolgens het ontstane neerslag verwijderen door met de rechtermuisklik te kiezen voor verwijder neerslag (**Remove Solid**). Merk op dat het volume nu 120 mL is (dit is ook te verwachten als je 90 mL en 30 mL samenvoegt)

7. Als je nu naar de gegevens kijkt van de erlenmeyer met de naam "kobaltoplossing zonder chloride-ionen" dan zie je dat er vrijwel geen chloride-ionen en CoCl_4^{2-} -ionen zijn. Dit is dus een mooie startoplossing voor dit experiment: we hebben nu dus vrijwel geen chloride-ionen meer, maar wel nog kobalt(II)ionen met water omringing: $\text{Co}^{2+}(\text{aq})$ ofwel $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq})$ in de notatie van het virtuele lab. Merk op dat de kleur inderdaad roze is zoals je zou mogen verwachten (zie voorbereidende vraag 1).

Met opmerkingen [T55]: Afbreking onhandig

Onderdeel 2: De invloed van een concentratieverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de *concentratie* van chloride-ionen te *veranderen*.



8. Vul de vier lege erlenmeyers allemaal met 20 mL van de kobaltoplossing zonder chloride-ionen.

9. Voeg vervolgens de juiste hoeveelheid zoutzuur toe (volgens beschrijving erlenmeyer); dus erlenmeyer #1 krijgt geen zoutzuur, #2 krijgt 10 mL, #3 krijgt 20 mL en #4 krijg 30 mL zoutzuur. Door het toevoegen van zoutzuur, verhoog je de concentratie van chloride-ionen.

10. Vul alle vier de erlenmeyers aan met demiwater (indien nodig) zodat het totale volume in alle vier de erlenmeyers 50 mL bedraagt.

11. Je hebt nu vier erlenmeyers gevuld met 50 mL oplossing, maar ze hebben allemaal een andere kleur en ook andere concentraties. Wanneer de temperatuur van de oplossingen in de erlenmeyers weer 25,0 °C is, is er sprake van evenwicht. Vul dan onderstaande tabel in met 4 significante cijfers en waar handig de wetenschappelijke notatie:

▼ tabel 1
resultaat onderdeel 2

| ion (aq) | Erlenmeyer 1 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 2 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 3 (concentratie mol/L) | Erlenmeyer 4 (concentratie mol/L) |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Co ²⁺ | | | | |
| Cl ⁻ | | | | |
| CoCl ₄ ²⁻ | | | | |

Met opmerkingen [TS6]: Ik zou boven erlenmeyer 1 t/m 4 herhalen hoeveel ml 12M HCl opl is toegevoegd.

12. Bereken voor erlenmeyer 2 t/m 4 de waarde van de concentratiebreuk in 3 significante cijfers en daarmee dus de evenwichtsconstante.

Bij erlenmeyer 2 is de evenwichtsconstante K:

.....

Bij erlenmeyer 3 is de evenwichtsconstante K:

.....

Bij erlenmeyer 4 is de evenwichtsconstante K:

.....

13. Waarom kunnen we bij erlenmeyer 1 geen evenwichtsconstante uitrekenen?

Bij erlenmeyer 1 kunnen we geen evenwichtsconstante uitrekenen, omdat

.....

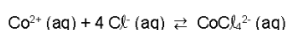
14. Van erlenmeyer 2 naar 4 heb je steeds meer chloride-ionen toegevoegd en daarmee het evenwicht verstoord. Volgens het principe van Le Chatelier reageert het evenwichtssysteem zodanig dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. Je kunt dus zeggen:

Het evenwichtssysteem gaat de verstoring (toevoegen van extra chloride-ionen) zoveel mogelijk tegen, dus wanneer je extra chloride-ionen toevoegt aan de oplossing, verschuift het evenwicht naarlinks / rechts..... Door deze verschuiving wordt de concentratie van chloride-ionen duslager/hoger,..... ten opzichte van de toegevoegde concentratie chloride-ionen.

Met opmerkingen [TS7]: Anders vullen ze wellicht in dat deze in de erlenmeyers van #1 naar #4 toeneemt. Dat is ook zo, maar wij willen horen hoe dat principe van Le Chatelier de verhoging van de verstoring tegen gaat.

Onderdeel 3: De invloed van een temperatuursverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de *temperatuur* te veranderen.



15. Neem erlenmeyer #2 en verwarm door de erlenmeyer op de brander te slepen. Schrijf je waarnemingen op.

Waarneming bij verwarmen van erlenmeyer #2:

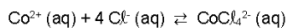
16. Neem de erlenmeyer weer van de brander en laat afkoelen. Schrijf wederom de waarnemingen op.

Waarneming bij afkoelen van erlenmeyer #2:

17. Bij het verhogen van de temperatuur zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. De endotheemische reactie zal dan dus tijdelijk in het voordeel zijn. Je kunt nu dus zeggen: *Bij verhogen van de temperatuur schuift het evenwicht op naarlinks / rechts....., dus de reactie naarlinks / rechts..... isendotherm / exotherm.....*

Onderdeel 4: De invloed van een volumeverandering

Je gaat nu het onderstaande evenwicht verstoren en verschuiven door de oplossing te *verdunnen*.



18. Verdun erlenmeyer #2 t/m 4 met water tot 100 mL. **Je zult af en toe een nieuwe erlenmeyer met 100 mL water moeten pakken uit de 'stockroom'** Schrijf je waarnemingen op.

Waarneming bij verdunnen van erlenmeyer #2 t/m 4:

19. Bij het verdunnen van de oplossingen zal volgens het principe van Le Chatelier het evenwichtssysteem zodanig reageren dat de verstoring zoveel mogelijk wordt tegengegaan. *Het evenwicht zal dan opschuiven in de richting van deminste / meeste..... opgeloste deeltjes. Bij verdunnen van de evenwichtsmengsels schuift het evenwicht dus op naarlinks / rechts..... Daarom verschuift de kleur naar*

Samenvattend:

Een invloed laat het chemisch evenwicht zodanig verschuiven dat deze invloed wordt tegengewerkt. Dit is het principe van Le Chatelier.

