



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Bridging the gap between macro and micro: enhancing students' chemical reasoning: how to use demonstration experiments effectively for the teaching and learning of structure-property reasoning

Otter, M. den

Citation

Otter, M. den. (2023, December 6). *Bridging the gap between macro and micro: enhancing students' chemical reasoning: how to use demonstration experiments effectively for the teaching and learning of structure-property reasoning*. ICLON PhD Dissertation Series. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3665770>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3665770>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Nederlandse Samenvatting

Een van de belangrijkste doelen van het scheikunde-onderwijs is leerlingen leren chemisch te redeneren (Talanquer, 2018). Een belangrijk onderdeel van dit chemisch redeneren is het micro-macrodenken, in het Engels 'structure-property reasoning' genoemd. Bij het micro-macrodenken wordt er van de chemicus gevraagd om macroscopische eigenschappen te beschrijven en te verklaren met behulp van het microniveau, het niveau van de deeltjes en de interacties daartussen (Cooper et al., 2013; Meijer, 2011; Talanquer, 2018).

Een expert in scheikunde beweegt soepel en bijna onbewust tussen deze twee niveaus heen en weer bij het denken over chemische vraagstukken. Een beginner, in dit proefschrift een leerling van de middelbare school, heeft hier veel moeite mee (Johnstone, 1991). Dit heeft een aantal redenen. Allereerst, het microniveau, het niveau van de deeltjes, is niet met het blote oog te zien. Dit betekent dat scheikundigen gebruik moeten maken van modellen om dit niveau te beschrijven. Leerlingen hebben moeite met deze modellen. Ze vertalen de modellen vaak een-op-een naar de werkelijkheid. Daarnaast kunnen leerlingen niet goed omgaan met de grenzen van zulke modellen. Ten tweede hebben leerlingen door hun eerdere ervaringen een macroscopische oriëntatie. Ten derde hebben leerlingen diverse misconcepties over de deeltjesmodellen. Hierdoor wordt het aanleren en ontwikkelen van het micro-macrodenken gehinderd (Adbo & Taber, 2009; Ben-Zvi et al., 1986; Cheng & Gilbert, 2017; de Jong & Taber, 2015; Gabel, 1999; Gilbert & Treagust, 2009; Harrison & Treagust, 2003; Johnstone, 1991).

Om leerlingen te ondersteunen in het aanleren en ontwikkelen van micro-macrodenken, is er voor docenten een (effectieve en praktische) lesaanpak nodig. Echter, in het onderwijsonderzoek worden hier maar beperkt handvatten voor aangereikt. Een aantal studies wijst op het belang van het laten zien van chemische fenomenen (het macroniveau) die vervolgens op het microniveau worden uitgelegd. Hierdoor kan het micro-macrodenken expliciet worden onderwezen (Dolfing et al., 2011; Gabel, 1999; Kelly et al., 2010; Talanquer, 2018).

Praktisch werk in de vorm van leerlingpractica zouden geschikt zijn om die chemisch fenomenen te laten zien. Echter, het leerrendement en de praktische bruikbaarheid van leerlingpractica laten weleens te wensen over. Er ontstaat ruis veroorzaakt door de complexiteit van het zelf uitvoeren van een experiment. Hierdoor komen leerlingen niet of nauwelijks tot het leren van concepten tijdens een practicum. Deze ruis kan verminderd worden door gebruik te maken van demonstratie-experimenten (Becker et al., 2015; Hodson, 2014; Johnstone, 2000; Kelly & Jones, 2007; Kozma & Russell, 1997; Pols, 2023; Ramsey et al., 2000; Treagust & Tsui, 2014).

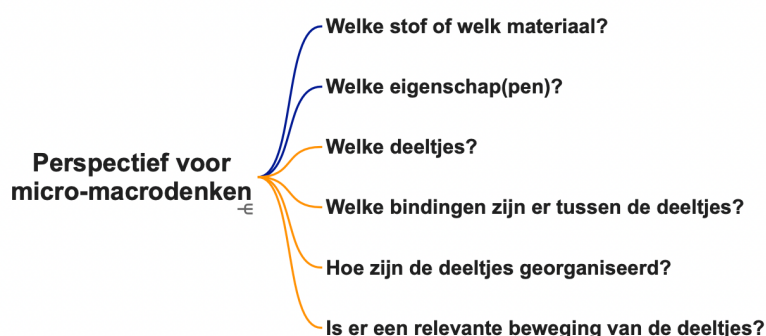
Een demonstratie-experiment bestaat vaak uit twee stappen: show en explain, beide uitgevoerd en geleid door de docent. Het probleem is dat leerlingen tijdens de show van de demonstratie vaak passief observeren. Daardoor is de aandacht van de leerlingen bij de uiterlijke kenmerken van het chemische fenomeen. Ook vinden leerlingen het lastig om het fenomeen uit te leggen op microniveau en zijn er daarnaast weinig mogelijkheden voor de leerlingen om hun ideeën te testen. Hierdoor hebben leerlingen moeite om de juiste conceptuele kennis te ontwikkelen. Docenten hebben daarom baat bij een aanpak die de tekortkomingen van een demonstratie-experiment overkomen (Becker et al., 2015; Treagust & Tsui, 2014).

Een nieuwe aanpak (een innovatie) zal pas door docenten geïmplementeerd worden als deze wordt ervaren als praktisch bruikbaar. Doyle & Ponder (1977) onderscheiden hierin drie dimensies,

namelijk de innovatie is instrumenteel, hetgeen inhoudt dat de innovatie een duidelijke en herkenbare procedure heeft, de innovatie is congruent, wat betekent dat docent zijn eigen lesdoelen ermee kan behalen en de innovatie is kosteneffectief, hetgeen betekent dat de kosten in termen van tijd, middelen en energie voor de docent gunstig uitvallen. Als aan deze voorwaarden is voldaan, zal de docent de innovatie als praktisch bruikbaar worden ervaren (Borko et al., 2010; Doyle, 2006; Doyle & Ponder, 1977; Janssen et al., 2013; Shavelson et al., 2008).

Het doel van dit onderzoek was het exploreren van een effectieve en praktische aanpak voor het onderwijzen en evalueren van micro-macrodenken in de scheikundelessen van de middelbare school. Op basis van de voorgaande overwegingen met betrekking tot micro-macrodenken en het onderwijzen en leren ervan, evenals de overwegingen met betrekking tot het ontwerp van effectieve chemische demonstraties, verwachtten we dat het onderwijs in micro-macrodenken baat kan hebben bij het gebruik van geschikte demonstraties. Om deze hypothese te toetsen, werd de volgende centrale onderzoeksvraag gebruikt: “wat zijn de karakteristieken van een effectieve en praktische aanpak die scheikundeleraars ondersteunt in het ontwerpen, vaststellen en evalueren van demonstratielessen om het micro-macrodenken van de leerlingen te vergroten?” Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zijn er vier studies uitgevoerd, namelijk 1) de ontwikkeling en het gebruik van het perspectief voor micro-macrodenken om micro-macrodenken te expliciteren, 2) het ontwerp van een evaluatie-instrument om de voortgang van leerlingen in micro-macrodenken in kaart te brengen, 3) het ontwerp en implementatie van een op demonstraties gebaseerde lessenserie om het micro-macrodenken expliciet te onderwijzen en 4) een inventarisatie onder acht scheikunde-docenten naar de praktische bruikbaarheid van de aanpak. De resultaten van de deelstudies zullen worden gebruikt om docenten handvatten te geven over hoe micro-macrodenken van leerlingen geëvalueerd en onderwezen kan worden.

In de eerste studie is de ontwikkeling van een model voor micro-macrodenken beschreven (**hoofdstuk 2**). Met dit model willen we de samenhang tussen de chemische concepten en de vaardigheid van het micro-macro redeneren weergeven. Hiervoor is wetenschappelijk perspectivisme gebruikt (Landa et al., 2020). De kerngedachte van micro-macrodenken is: de **eigenschappen** van **stoffen** kan worden beschreven en verklaard door de aard van de **deeltjes** waar de stof is uitgemaakt, de **bindingen en krachten** tussen de deeltjes en de **beweging** en **organisatie** van die deeltjes (Smith et al., 2006). Uit de vetgedrukte woorden kunnen zes vragen worden geformuleerd (Figuur 1). De antwoorden op deze vragen zijn de chemische concepten die je nodig hebt voor het micro-macrodenken. Hierdoor wordt de chemische kennis in samenhang georganiseerd.



Figuur 1: het perspectief voor micro-macrodenken

Aan de hand van vier in moeilijkheid oplopende cases is gedemonstreerd hoe het perspectief voor micro-macrodenken en de uitbreiding daarvan het redeneren over de casus kan stimuleren. Dit veroorzaakt een impliciete leerprogressie doordat de vragen van het perspectief steeds verder vertakken. Bij elke verdere differentiatie wordt de strategie steeds krachtiger. Daarnaast wordt met het perspectief de horizontale en verticale samenhang vergroot. Horizontale samenhang refereert hierbij naar de samenhang van de kennis van een vak binnen een leerjaar. De verticale samenhang verwijst naar de samenhang van een vak over de leerjaren heen (Jin et al., 2019).

In **Hoofdstuk 3** is de ontwikkeling van een evaluatietool beschreven. Deze tool kan gebruikt worden door scheikundedocenten om het niveau van micro-macrodenken van hun leerlingen en studenten vast te stellen. Voor dit SPR-instrument (SPR staat voor structure-property reasoning) werden drie criteria opgesteld, namelijk 1) het instrument moet gebaseerd zijn op een alomvattend model voor micro-macrodenken, 2) het instrument moet kosteneffectief zijn en 3) het instrument moet door docenten aan te passen zijn aan de eigen lesdoelen. Om deze doelen te bereiken is er een sorteertaak (Irby et al., 2016; Krieter et al., 2016) gecombineerd met een mappingtaak. Beiden taken werden zowel unframed als framed aangeboden.

Resultaten lieten zien dat het SPR-instrument in staat is om te discrimineren tussen leerlingen van 4vwo en 5vwo en eerstejaars scheikundestudenten. Daarnaast liet het zien dat het perspectief voor micro-macrodenken kan dienen als omvattend model dat de benodigde aspecten van het micro-macrodenken afdekt. Het instrument voldeed ook aan het tweede criterium, d.w.z. het instrument is kosteneffectief. Voorbereiding en uitvoeren van het SPR-instrument was niet tijdrovend en het instrument is geschikt voor grotere groepen. Echter, het analyseren van de resultaten nam meer tijd in beslag dan verwacht. Ook aan het laatste criterium is voldaan, het instrument is aanpasbaar aan de docent zijn eigen lesdoelen.

In **hoofdstuk 4** is het ontwerp en de uitvoering van een demonstratielessenserie beschreven met als doel leerlingen het micro-macrodenken aan te leren. Hiervoor zijn twee ontwerpcriteria vastgesteld, namelijk 1) het gebruik van een POE-taak (Treagust & Tsui, 2014) om leerlingen te stimuleren voor zichzelf te denken en het microniveau te modelleren en 2) het ondersteunen van POE-taak met het perspectief voor micro-macrodenken om de leerlingen te begeleiden bij het redeneren in de explain-fase. Bestaande demonstraties zijn herontworpen met behulp van deze twee ontwerpprincipes. De lessenserie is getest in twee leerjaren 4vwo om het effect van de twee ontwerpprincipes te bepalen. Het SPR-instrument is gebruikt om de voortgang in het micro-macrodenken van de klas als geheel te bepalen. Uit de resultaten van dit instrument bleek dat de lessenserie heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van micro-macrodenken. De mapping taken van het SPR-instrument lieten zien dat leerlingen meer chemische concepten die ze nodig hebben voor micro-macro denken konden reproduceren en begrijpen. Daarnaast lieten de sorteertaken van het SPR-instrument zien dat leerlingen beter waren in het toepassen en evalueren van de kennis bij problemen die micro-macrodenken behoeven. Aan de hand van een student, genaamd Sally, en haar groepsgenoten is kwalitatief geanalyseerd hoe de progressie in het modelleren van micro-modellen verloopt.

De resultaten lieten zien dat de twee ontwerpprincipes het gewenste resultaat opleverden. Het gebruik van de POE-taak zorgde ervoor dat leerlingen meer actief betrokken waren bij het modelleren van de micro-modellen in de explain-fase. Hierdoor zullen de leerlingen meer kennis ontwikkelen over de benodigde micromodellen. Het SPR-instrument liet daarnaast zien dat het perspectief voor micro-macrodenken bij leerlingen was ontwikkeld. Dit maakt dat de waarde van het perspectief als

ondersteuning bij het redeneren toeneemt. Beide ontwerpprincipes zullen de leerlingen helpen in het ontwikkelen van de vaardigheid van micro-macrodenken.

In **hoofdstuk 5** is de mate van praktische bruikbaarheid (Doyle & Ponder, 1977; Janssen et al., 2013) van de twee ontwerpprincipes van hoofdstuk 4 onderzocht. Hiervoor zijn acht scheikundedocenten geïnterviewd en gevraagd om de praktische bruikbaarheid van hun eigen aanpak te vergelijken met onze aanpak. De resultaten laten zien dat de docenten de praktische bruikbaarheid van de herontworpen demonstratie net zo hoog inschatten als die van ‘normale’ demonstratie. Als voordelen van het herontwerp werd genoemd dat leerlingen op deze manier in staat worden gesteld om voor zichzelf te denken en dat het perspectief voor micro-macrodenken kan fungeren als denkraam voor de leerlingen. Een veelgenoemd nadeel is dat het perspectief uit een groot aantal vragen bestond.

In het laatste hoofdstuk (hoofdstuk 6) worden alle opbrengsten van de deelstudies beschreven en bediscussieerd. De resultaten van de vier deelstudies hebben laten zien dat dat het perspectief voor micro-macrodenken geschikt is als model voor micro-macrodenken. Het perspectief bestaat uit vragen waarmee de macroscopische eigenschappen van een stof kunnen worden beschreven en verklaard met behulp van het microniveau. Docenten kunnen het perspectief gebruiken als ontwerpgerederschap bij het (her)ontwerpen van lessen of oor het ontwerp van evaluatie-instrumenten waarin het perspectief fungeert als basis van het instrument.

Daarnaast hebben de resultaten van de vier deelstudies laten zien dat de POE-taak de docent in staat stelt om leerlingen meer te activeren tijdens de demonstratie. De POE-demonstratie zorgt ervoor dat docenten bij de macroscopische oriëntatie van leerlingen kunnen beginnen. Door de predict-fase van de POE-taak zijn de leerlingen actief bezig met de demonstratie. De studentgerichte explain-fase van de POE-taak stelt studenten in staat om zelf na te denken en het micromodel te modelleren zodat het gedemonstreerde chemische fenomeen kan worden beschreven en verklaard. Het gebruik van het perspectief in de explain-fase ondersteunt de leerlingen bij het formuleren van verklaringen op microniveau. De vragen van het perspectief kunnen gebruikt worden om het fenomeen te beschrijven en te bevragen. De chemische concepten die als antwoord op de vragen naar bovenkomen kunnen de leerlingen helpen om een goed antwoord en micromodel te formuleren. De POE-demonstratie gecombineerd met het perspectief stellen de docent in staat om het micro-macrodenken expliciet te onderwijzen.

De twee ontwerpprincipes samen werden door docenten ook als praktisch bruikbaar ervaren. De praktische bruikbaarheid van de aanpak wordt verhoogd doordat er bestaande demonstraties gebruikt kunnen worden voor het herontwerp. De POE-taak voegt slechts een bouwsteen toe aan de aanpak. Het perspectief voor micro-macrodenken reorganiseert de chemische concepten die onderwezen moeten worden zodat er meer samenhang tussen de concepten ontstaat. De innovatie bestaat uit kleine aanpassingen aan de gebruikelijke lespraktijk. Hierdoor zal de innovatie als instrumenteel worden ervaren. De POE-taak geeft de leerling meer de gelegenheid om voor zichzelf te denken. Hierdoor zal de innovatie congruent zijn met de lesdoelen van de docent. Als laatste is de innovatie kosteneffectief door het gebruik van (bestaande) demonstraties die qua tijd, middelen en energie minder kosten met zich meebrengen in vergelijking met leerlingpractica.

Elk onderzoek kent zijn beperkingen, zo ook dit onderzoek. Allereerst was er een kleine groep leerlingen die als deelnemers meedeed in de studies van hoofdstuk 3 en 4. Het verdient dan ook de aanbeveling om dit onderzoek met grotere groepen te herhalen. Daarnaast is één lessenserie onvoldoende om het micro-macrodenken bij leerlingen te ontwikkelen. De lessenserie uit hoofdstuk 4 zal moeten dienen als startpunt voor een leerprogressie voor micro-macrodenken dat in vervolgonderzoek kan worden ontwikkeld. Een limitatie van hoofdstuk 5 is dat het ingeschatte

praktische bruikbaarheid van docenten betreft. Vervolgonderzoek met daarin een professionele ontwikkeling zou kunnen onderzoeken hoe docenten de innovatie implementeren en hoe ze vervolgens de praktische bruikbaarheid van de aanpak waarderen. Als laatste is de geschiktheid van het perspectief voor micro-macrodanken alleen gedemonstreerd door een beperkt aantal voorbeelden. Dit maakt dat de reikwijdte van het perspectief gelimiteerd is tot het micro-macrodanken in het K-12 scheikundeonderwijs (PO en VO). Vervolgonderzoek zou duidelijk moeten maken of het perspectief voor micro-macrodanken kan worden uitgebreid om het gehele domein van micro-macrodanken en daarna ook alle andere onderwerpen van het K-12 scheikundeonderwijs te omvatten.

Uit dit onderzoek volgen diverse theoretische en praktische implicaties. Ten eerste lijkt het perspectief voor micro-macrodanken een bruikbare explicatie van micro-macrodanken. Dit maakt dat het perspectief gebruikt kan worden als denkkader, kennisorganisator en hulp-op-maat door de leerlingen. Docenten kunnen het perspectief gebruiken als ontwerpgereedschap voor het ontwerp van lessen, lessenseries en curricula. Daarnaast kan het perspectief gebruikt worden om evaluatie-instrumenten te ontwerpen. Het perspectief is onderdeel van het overkoepelend scheikundig perspectief voor het K-12 scheikundeonderwijs, waarmee de reikwijdte voor zowel leerlingen als docenten zal worden vergroot. De POE-taak maakt het mogelijk voor docenten om demonstraties effectiever in te zetten en daarmee micro-macrodanken explicieter te onderwijzen. Een dergelijke POE-taak is niet nieuw, maar de combinatie met het perspectief voor micro-macrodanken vergroot de waarde en de praktische bruikbaarheid van de demonstratie. Daarnaast zijn de twee ontwerpprincipes, de POE-taak en het perspectief ook toepasbaar in andere situaties waarin leerlingen micro-macrodanken moeten ontwikkelen zoals leerlingpractica en opdrachten.