

MASTER

Inventarisatie van algemene (begrips)problemen omtrent de grootheid chemische hoeveelheid

Reijnders, M.E.G.

Award date:
2010

[Link to publication](#)

Disclaimer

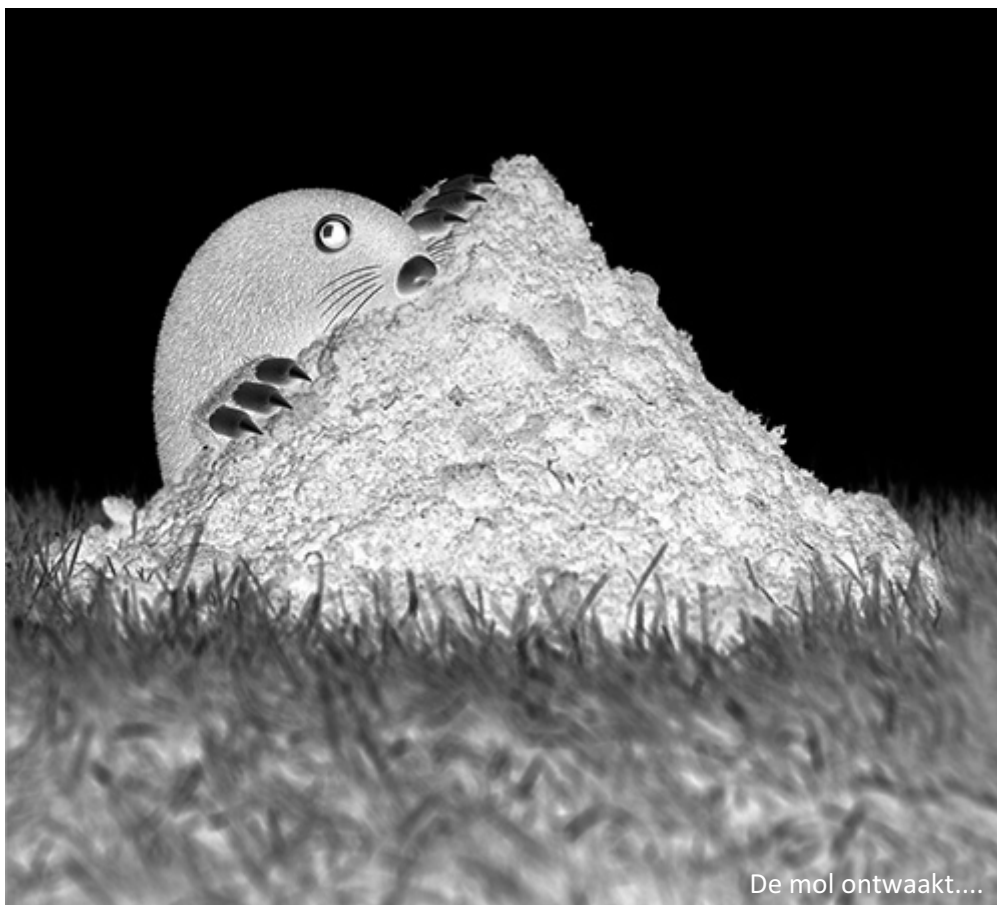
This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository.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

Inventarisatie van algemene (begrips)problemen omtrent de grootheid chemische hoeveelheid



Marieke Reijnders

Maart 2010

Begeleiders:

Perry den Brok

Miek Scheffers-Sap

Samenvatting

In dit onderzoek wordt een inventarisatie gemaakt van de huidige situatie betreffende het scheikunde-onderwijs in Nederland omtrent begripsproblemen bij leerlingen aangaande de mol. Hiervoor zijn vier verschillende docenten van drie verschillende Nederlandse scholen geïnterviewd en zijn vier lesmethoden geanalyseerd. In dit onderzoek is naar voren gekomen dat door zowel docenten als lesmethoden een (onterechte) koppeling gemaakt wordt tussen “de mol” en het getal van Avogadro. Mede hierdoor lijkt de nadruk in het huidige onderwijs nog steeds te liggen op het rekenen met de mol terwijl, volgens de literatuur, de nadruk meer zou moeten liggen bij de mol als bepaalde massa stof. Daarnaast blijkt dat bij het introduceren van het begrip niet of onvoldoende gewezen wordt op het gebruik van *mol* als eenheid met de bijbehorende grootte *chemische hoeveelheid* of *hoeveelheid stof*.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	2
2.	Theorie.....	3
	Wat is de mol.....	3
	Leerlingen en de mol.....	4
	Docenten en de mol.....	5
	Leerboeken en de mol.....	5
	Onderzoeksvragen.....	6
3.	Methode.....	7
	Onderzoekseenheden.....	7
	Deelnemende docenten.....	7
	Geanalyseerde lesmethoden.....	7
	Instrumenten.....	8
4.	Resultaten.....	10
	Onderzoeksvraag 1.....	10
	Onderzoeksvraag 2.....	10
	Onderzoeksvraag 3.....	11
	Onderzoeksvraag 4.....	13
	Onderzoeksvraag 5.....	13
	Onderzoeksvraag 6.....	14
5.	Conclusies.....	14
6.	Discussie.....	15
	Referenties.....	17
	Bijlage A: Interviewschema.....	19
	Bijlage B: Extra vragen aan docenten.....	22
	Bijlage C: Notities interviews.....	24
	Bijlage D: Cross-case analyse interviews.....	31
	Bijlage E: Cross-case analyse lesmethoden.....	32

1. Inleiding

In Nederland wordt bij het vak scheikunde in de vierde klas van zowel havo als vwo de eenheid *mol* geïntroduceerd. Uit talloze onderzoeken (Furió, et al., 2002) (Furió, et al., 2000) (Jong, 1990) (Staver, et al.) (Stromdahl, et al., 1994) (Tullberg, et al., 1994) is gebleken dat “de mol” bij veel leerlingen moeilijk beklift. Vanaf de jaren 80 tot nu zijn er meer dan 300 publicaties verschenen die handelen over de moeilijkheden bij het doceren en leren van het molconcept. In de meeste publicaties die verschenen, echter, werd onderzoek beschreven waarbij de nadruk gelegd werd op de leerling. Voor een review hierover zie Furió *et al* (Furió, et al., 2002). Ander onderzoek richtte zich vooral op de manier waarop tekstboeken de mol introduceren. In verschillende onderzoeken van o.a. Furió *et al* (Furió, et al., 2000), Staver en Lumpe (Staver, et al.) en De Jong (Jong, 1990) werden respectievelijk 87, 63 en 10 tekstboeken of teksten geanalyseerd. Een klein deel van alle onderzoeken concentreerde zich op de chemiedocent. In het, al eerder genoemde, onderzoek van Furió werden 47 docenten en 6 professoren geïnterviewd en werd hen gevraagd hun visie te geven op het begrip. Ook Tullberg en Strömdahl (Tullberg, et al., 1994) (Stromdahl, et al., 1994) ondervroegen 28 chemiedocenten over hun voorstelling van het begrip.

In elk van de hierboven genoemde onderzoeken zijn suggesties gedaan voor verbetering van het (mol-)onderwijs. Desondanks lijkt het probleem nog steeds voort te leven en hoor ik regelmatig van collega-docenten dat veel leerlingen niet met deze nieuwe grootheid overweg kunnen. Om meer duidelijkheid te krijgen over het molprobleem gezien vanuit de docent ben ik dit onderzoek gestart.

2. Theorie

Voorafgaande aan mijn onderzoek heb ik een literatuurstudie gedaan. Ik heb hierbij eerst geprobeerd helder te krijgen wat de betekenis van “de mol” precies is en waarom er zoveel problemen optreden bij het uitleggen van dit begrip. Daarna heb ik in kaart gebracht wat de belangrijkste conclusies zijn uit eerdere onderzoeken. Dit heb ik verdeeld in 3 categorieën: leerlingen en de mol, docenten en de mol en leerboeken en de mol.

Wat is de mol

De mol wordt vaak in verband gebracht met het getal van Avogadro. In 1811 stelde Avogadro dat bij dezelfde temperatuur en druk, dezelfde volumes van verschillende gassen hetzelfde aantal moleculen bevatten. Avogadro sprak nog niet van “de mol” (Padilla, et al., 2008) Kijken we naar de geschiedenis van “de mol”, dan zien we dat het woord *molar* (afkomstig van het woord *mole*) voor het eerst geïntroduceerd wordt door Hofmann in 1865 (Jensen, 2004). Afgaande op de betekenis van de latijnse woorden *mole* (= grote massa) en *molecule* (= kleine massa) wordt met deze woorden een onderscheid gemaakt tussen de macroscopische en de microscopische wereld. Rond 1900 wordt door Wilhelm Ostwald een begin gemaakt met het concept mol zoals wij dat nu kennen. Ostwald definieerde het als: “*the mass of a substance, expressed in grams, numerically equal to its relative molar mass*” (Padilla, et al., 2008). Tussen 1900 en 1971 werd voor het eerst de eenheid *mol* gebruikt met als bijbehorende grootte *number of moles* (Gorin, 1994). Pas sinds 1971 maakt “de mol” deel uit van de SI-basiseenheden.

Tegenwoordig spreken we van de basisgrootte *hoeveelheid stof* met symbool *n* en de bijbehorende eenheid *mol*. Rond 1990 werd door de IUPAC ook de term *chemische hoeveelheid* goedgekeurd als synoniem voor *hoeveelheid stof* (Gorin, 1994). De tegenwoordig gehanteerde definitie (Herron, 1996):

“A *mole* is the amount of substance of a system that contains as many elementary entities as there are carbon atoms in 0.012 kg of carbon-12. The elementary entity must be specified and may be an atom, a molecule, an ion, an electron, etc., or a specified group of such particles.”

De mol is dus een eenheid die het relatieve aantal atomen (of deeltjes die voortkomen uit atomen) meet in vergelijking met het aantal aanwezig in een standaard. Het woord *relatief* wordt gebruikt omdat het niet mogelijk is om atomen of deeltjes werkelijk te tellen en dit aantal wordt dus altijd verkregen door middel van berekeningen t.o.v. een standaard (zoals overigens alle eenheden die opgenomen zijn in het SI).

Leerlingen en de mol

Er is onder leerlingen veel onderzoek gedaan naar de problemen die zij ondervinden bij zowel de introductie als de hantering van “de mol”. Veel van deze onderzoeken zijn beschreven in een review van Furió (Furió, et al., 2002). In deze review komt sterk naar voren dat leerlingen:

- een gebrek aan voorstellingsvermogen hebben (voor wat betreft de wetenschappelijke voorstelling van de mol)
- moeite hebben met het abstracte karakter van het begrip

Volgens dit onderzoek kan een mogelijke verklaring hiervoor gezocht worden in het brede karakter van het begrip. Er worden namelijk veel verschillende betekenissen aan het woord mol toegekend (individual unit of mass, portion of substance, number of particles). Hierbij treedt gemakkelijk verwarring op. Zo wordt vaak gesproken over de grootheid *aantal mol* of *chemische massa* i.p.v. *hoeveelheid stof* of *chemische hoeveelheid* of wordt de mol gekoppeld aan het getal van Avogadro (Furió, et al., 2000). Bovendien wordt door de meeste tekstboeken vaak gekozen voor een operationele introductie waarbij de mol verschijnt als een handige manier om kleine deeltjes te tellen. Hierdoor gaat de chemische betekenis van het begrip verloren. Daarnaast ontstaan er problemen als docenten belangrijke informatie weglaten bij de introductie van het begrip. Vaak wordt informatie weggelaten die als bekend verondersteld wordt en is voor de leerlingen het onderscheid tussen bijvoorbeeld molaire massa, atomaire massa en moleculaire massa niet of nauwelijks zichtbaar (Furió, et al., 2002). Een lijst met de meest voorkomende problemen bij leerlingen is hieronder opgesomd (Furió, et al., 2002):

- 1) Leerlingen hebben moeite met de wetenschappelijke voorstelling van het begrip.
- 2) De meeste leerlingen identificeren de mol met een massa, een volume en/of een aantal (getal van Avogadro) elementaire deeltjes.
- 3) Omdat zij de betekenis van de grootheid *hoeveelheid stof* niet kennen, vermijden veel leerlingen het gebruik hiervan en identificeren ze de mol niet als (de bijbehorende) eenheid.
- 4) Leerlingen verwarren vaak de macroscopische voorstelling van stoffen (molaire massa) met de (sub)microscopische voorstelling van atomen en moleculen (atomaire massa en moleculaire massa).
- 5) Leerlingen identificeren gewoonlijk de verhouding van het aantal moleculen met de verhouding van massa en de verhouding van massa met de verhouding van molaire massa.
- 6) Leerlingen beschouwen de mol als een eigenschap van een molecuul.
- 7) Leerlingen zien de mol als massa-eenheid.
- 8) Leerlingen beseffen niet dat atomen van verschillende elementen ook verschillende massa's hebben.

Docenten en de mol

De chemiedocent is vaak de eerste die zijn leerlingen bekend maakt met het begrip mol. Bij het aanleren van “de mol” is het dus erg belangrijk dat de docent de juiste voorstelling heeft van dit begrip. Uit de onderzoeken die gedaan zijn onder chemiedocenten blijkt dat zij zelf vaak geen goede voorstelling hebben van het begrip (Furío, et al., 2000). In een onderzoek van Strömdahl (Stromdahl, et al., 1994) werden 28 docenten ondervraagd over het begrip mol. Daaruit bleek dat slechts 11% de mol identificeerde met “hoeveelheid stof”, 61% identificeerde de mol met het getal van Avogadro en 25% met massa. Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden dat veel docenten zelf geen goede voorstelling hebben van het begrip en het ten onrechte verwarren met massa of het getal van Avogadro. Uit een onderzoek onder vier professoren over de didactiek omtrent dit begrip kwam bovendien naar voren dat de betreffende professoren vaak zelf vergeten om de grootheid *hoeveelheid stof* te vermelden tijdens colleges (Padilla, et al., 2008).

Leerboeken en de mol

Leerlingen op de middelbare school hebben doorgaans 3 belangrijke informatiebronnen bij het leren van nieuwe stof, te weten het leerboek, de docent en medeleerlingen. Het leerboek is in de meeste gevallen de voornaamste bron van informatie. Furio (Furío, et al., 2000) onderzocht 87 (internationale) tekstboeken, geschreven in de periode 1976-1996 en keek hierbij naar de wijze waarop het begrip mol geïntroduceerd wordt. De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn hieronder opgesomd:

- 1) In 95% van de tekstboeken wordt de grootheid *hoeveelheid stof* **niet** gekoppeld aan de eenheid *mol*.
- 2) In geen enkel tekstboek wordt iets vermeld over de geschiedenis van het begrip.
- 3) In 88% van de tekstboeken wordt niet gewezen op de noodzaak voor het gebruik van het begrip.
- 4) In 51% van de tekstboeken wordt het mol-concept gekoppeld aan massa.
- 5) In 22% van de tekstboeken wordt het mol-concept gekoppeld aan het getal van Avogadro.

In 1973 analyseerde Hawthorne 104 tekstboeken gepubliceerd tussen 1891 en 1970 uit o.a. Amerika, Groot-Brittannië en Duitsland (Hawthorne, 1973). Hij vond een toename in de koppeling tussen het mol-concept en het getal van Avogadro. Opmerkelijk is dat hij in zijn conclusie vermeldt dat hij hoopt dat deze trend de komende jaren doorzet. Dit is in strijd met de bevindingen van Onno de Jong. De Jong analyseerde 10 gangbare (Nederlandse) leerboeken voor 4-havo en 4-vwo gepubliceerd tussen 1982 en 1988. Een aantal belangrijke conclusies uit zijn onderzoek zijn hieronder opgesomd (de Jong, 1991):

- 1) In vrijwel alle leerboeken wordt mol primair beschouwd als getal (van Avogadro) of als een bepaald aantal deeltjes. → tellen
- 2) In tweede instantie wordt mol beschouwd als een bepaalde massa stof. → rekenen
- 3) In de meeste leerboeken ontbreken stoichiometrische proeven of worden deze pas aan het einde van het hoofdstuk opgenomen. → meten

Daarnaast stelt de Jong dat er in leerboeken weinig samenhang bestaat tussen tellen, rekenen en meten met mol. Vervolgens worden door de Jong suggesties gedaan voor verbetering van de onderwijsprogrammering. Volgens de Jong zou bij een nieuwe opzet het meten met dit begrip voorop moeten staan, hieruit volgt dat aan mol primair de betekenis van bepaalde massa stof wordt toegekend, hierna zou pas de nadruk gelegd moeten worden op de noodzaak van het gebruik van “de mol” (rekenen) om te eindigen met het tellen. Het getal van Avogadro wordt hier door de Jong juist naar de achtergrond geschoven.

In dezelfde tijd dat de Jong zijn onderzoek in Nederland deed analyseerden in de Verenigde Staten Staver *et al.* 63 tekstboeken gepubliceerd tussen 1986 en 1990 (Staver, et al., 1993). Ook in dit onderzoek wordt een sterke connectie gevonden tussen het getal van Avogadro en mol. Daarnaast valt op dat bijna alle leerboeken de mol introduceren als een manier om deeltjes te tellen die te klein zijn om te kunnen wegen.

Onderzoeksvragen

In bovenstaande onderzoeken zijn de meest voorkomende begripsproblemen inmiddels in kaart gebracht. Daarnaast worden er suggesties gedaan voor verbetering van het onderwijs. Tijdens het bestuderen van de bijbehorende literatuur rees bij mij de vraag of deze suggesties inmiddels doorgevoerd zijn in lesmethoden en of chemiedocenten op de hoogte zijn van de uitkomsten van de hierboven beschreven onderzoeken. Daarnaast wilde ik graag in kaart brengen hoe verschillende docenten het onderwijzen van de chemische hoeveelheid aanpakken en wat volgens hen de definitie is van de chemische hoeveelheid. In dit onderzoek staan daarom, in plaats van de leerling, zowel de docent als de lesmethode centraal. In dit onderzoek heb ik geprobeerd antwoord te krijgen op de volgende onderzoeksvragen:

- 1) Welke voorstelling hebben docenten van de chemische hoeveelheid?
- 2) Welke voorstelling/definitie geven lesmethoden van de chemische hoeveelheid?
- 3) Hoe wordt de chemische hoeveelheid aan leerlingen uitgelegd? (docent + methode)
 - a. Welke benodigde voorkennis wordt geactiveerd?
 - b. Wordt er gebruik gemaakt van analogieën of voorbeelden en zo ja welke?
 - c. Welke werkvormen/verwerkingsopgaven worden er gebruikt?
- 4) Welke problemen ondervinden leerlingen, volgens de docent, bij de invoering van het begrip?
- 5) In welke mate zijn docenten op de hoogte van suggesties die gedaan worden voor verbetering van het onderwijs (op het gebied van de chemische hoeveelheid)?
- 6) Indien zichtbaar: op welke wijze worden suggesties ter verbetering van het onderwijs (op het gebied van de chemische hoeveelheid) doorgevoerd in lesmethoden?

3. Methode

Onderzoekseenheden

Deelnemende docenten

Het onderzoek werd uitgevoerd onder chemiedocenten die het vak scheikunde doceren in de bovenbouw van HAVO en VWO. Er werden vier docenten van drie verschillende scholen ondervraagd. Hierbij werd niet geselecteerd op sekse, leeftijd of onderwijservaring. De benaderde docenten hebben allen hun medewerking verleend. De ondervraagde docenten zijn afkomstig uit de kennissenkring van de onderzoeker (convenience sample) en werden ondervraagd in de periode juni-juli 2009. De interviews werden afgenomen in een rustige omgeving, danwel thuis, danwel in een leeg leslokaal, zonder tijdsdruk. De algemene gegevens van de respondenten die meewerkten aan dit onderzoek zijn te vinden in tabel 1. Uit deze gegevens blijkt dat 3 van de 4 docenten veel (> 10 jaar) ervaring hebben in het onderwijs.

Tabel 1 Algemene gegevens respondenten

	Docent 1	Docent 2	Docent 3	Docent 4
Leeftijd	41	63	42	59
Geslacht	Man	Man	Vrouw	Man
Onderwijservaring (in jaren)	1,5	38	14	33
Omgeving	Nijmegen	Venlo	Eindhoven	Eindhoven

Geanalyseerde lesmethoden

Bij het onderzoek werd gebruik gemaakt van de drie meest gebruikte lesmethoden in de bovenbouw van het VWO (zie tabel 2). Ik heb ervoor gekozen de HAVO-versies bij dit onderzoek buiten beschouwing te laten omdat deze op veel vlakken overlap vertonen met de VWO-versies. Door uitsluitend naar de VWO-versies te kijken heb ik gemeend het geheel aan resultaten zo overzichtelijk mogelijk te houden. Bij het analyseren van de lesmethoden heb ik gebruik gemaakt van de leerlingenteksten zoals ze in het lesboek voorkomen, de online leeromgeving behorende bij de methode en de docentenhandleidingen van de methode. Tegenwoordig wordt op een aantal scholen al gewerkt met lesmodulen die ontwikkeld zijn in het kader van de "Nieuwe Scheikunde". Eén van de VWO-modules waarin de chemische hoeveelheid geïntroduceerd wordt is de module "Op groene vakantie". Ook de leerlingentekst van deze module heb ik meegenomen in mijn onderzoek.

Tabel 2 Geanalyseerde lesmethoden

Methoden	Hoofdstuk	Online leeromgeving
<u>Pulsar Chemie, deel 1</u> (Bekkers, Camps, Pieren, Scholte, Vroemen, Bolt, 2003)	5. Meten en Weten (§ 5.6 De chemische hoeveelheid)	vwo.sk1.dl1.pulsar.wolters.nl
<u>Chemie Overal SK deel 1</u> (Franken, Korver, Schouten, Spillane, Veldema, 2008)	2. Rekenen in de chemie 1 (§ 2.5 Een nieuwe eenheid: de mol)	v1.chemieoveral.epn.nl
<u>Curie Scheikunde, informatieboek 1</u> (Bouma, Brouwer, Le Fevre, Ris, Schouten, van Schravendijk, 2003)	6. Rekenen aan reacties (§ 6.1 Rekenen met de mol)	www.curie-online.nl
<u>Nieuwe Scheikunde, module "Op groene vakantie"</u> (Coen Klein Douwel, Frans Arnold, Laurens Houben, Erwin van den Berg)	4. De mol	

Instrumenten

Omdat het bij dit onderzoek belangrijk was om kennis en opinie van de docenten in kaart te brengen is ervoor gekozen om de data te verzamelen m.b.v. een interview. Onderzoeksgegevens werden verzameld middels systematische ondervraging van de respondenten met behulp van een vooropgezette vragenlijst. Tijdens de interviews werden enerzijds letterlijke uitspraken van de ondervraagden genoteerd en anderzijds werd de soms wat uitgebreide uitleg van de respondent in eigen woorden samengevat door de onderzoeker, teruggekoppeld naar de respondent en genoteerd. Deze werkwijze heeft de onderzoeker beperkte ruimte gegeven voor een eigen interpretatie van de gegeven antwoorden. De gebruikte vragenlijst is opgenomen in bijlage A. De vragenlijst is als volgt samengesteld:

- In de 1^e vraag wordt antwoord gekregen op de 1^e onderzoeksvraag.
- In vraag 2 t/m 4 wordt geprobeerd een antwoord te vinden op de 3^e onderzoeksvraag (hoe wordt de chemische hoeveelheid aan de leerling uitgelegd).
- Bij vraag 5 kijken we naar de problemen die leerlingen ondervinden bij de invoering van het begrip volgens de docent (onderzoeksvraag 4).
- In aanvulling zijn achteraf via email de vragen 6 t/m 8 (zie bijlage B) gesteld die aansluiten bij onderzoeksvraag 5.

De verwerking van de onderzoeksgegevens gebeurde via een cross case analyse. Hierbij werd een tabel gemaakt waarin de vragen uit de vragenlijst horizontaal werden uitgezet en de verschillende respondenten verticaal. De antwoorden van de verschillende respondenten werden volgens onderstaande codering weergegeven in de tabel. Voorafgaand aan de interviews met de docenten werden een aantal lesmethoden (zie tabel 2) geanalyseerd waarbij ook gebruik werd gemaakt van de al eerder genoemde codering. Bij de analyse van de lesmethoden werd vooral gekeken naar:

- De gehanteerde definitie van het begrip (onderzoeksvraag 2).
- Welke voorkennis wordt geactiveerd (onderzoeksvraag 3a).
- Het gebruik van voorbeelden/analogieën ter verduidelijking van het begrip (onderzoeksvraag 3b).
- Soort verwerkingsopdrachten (onderzoeksvraag 3c).
- Zijn er suggesties uit eerdere onderzoeken verwerkt in de docentenhandleiding (onderzoeksvraag 6)?

Voor de analyse van de resultaten heb ik de volgende codering gehanteerd (op basis van literatuurstudie).

- Definitie behorende bij de mol. (Staver, et al., 1993):
 - Chemische hoeveelheid: bij het noemen van de bijbehorende grootte “chemische hoeveelheid” of “hoeveelheid stof”.
 - Definitie: bij het geven van de definitie (Herron, 1996) óf wanneer gesproken wordt over de getalwaarde; de massa van één deeltje in u versus de massa in g .
 - Aantal: bij het gebruik van het getal van Avogadro of wanneer gesproken werd over “een aantal deeltjes”.
- Het activeren van welke voorkennis bij leerlingen omtrent de invoering van het begrip:
 - Atomaire massa-eenheid (u): het rekenen met atoommassa en molecuulmassa.
 - Reactievergelijking: a.d.h.v. reactievergelijkingen; verhouding waarin moleculen met elkaar reageren.
 - Massaverhouding: uitgaande van een bekende massaverhouding op micro-niveau omschalen naar macro-niveau.
- Het gebruik van analogieën:
 - Tellen: wanneer telwoorden (zoals dozijn) gebruikt worden.
 - Nut: wanneer de noodzaak voor invoering van het begrip benadrukt wordt.
 - Voorstellingsvermogen: wanneer stil gestaan wordt bij de grootte van het getal van Avogadro.
- Het gebruik van werkvormen/verwerkingsopdrachten (Jong, 1990):
 - Omrekenen met massa: van chemische hoeveelheid naar massa en omgekeerd.
 - Omrekenen met N_A : van chemische hoeveelheid of massa naar aantal deeltjes
 - Stoichiometrisch oplossen: m.b.v. reactievergelijkingen.
 - Stoichiometrische experimenten:
- De problemen van leerlingen volgens docenten:
 - Voorstellingsvermogen: leerlingen hebben problemen met de wetenschappelijke voorstelling.
 - Eenheid: leerlingen zien niet in dat de mol een eenheid is en gebruiken het verkeerd.
 - Massa: leerlingen identificeren de mol met een massa.

4. Resultaten

De gegevens die gebruikt werden voor dit onderzoek bestaan uit notities gemaakt tijdens de interviews met de docenten (bijlage C), de cross-case analyse van de interviews met de docenten en de cross-case analyse van de lesmethoden (bijlagen D en E).

Onderzoeksvraag 1

Welke voorstelling hebben docenten bij de chemische hoeveelheid?

Uit eerdere onderzoeken onder docenten over het begrip mol kwam sterk naar voren dat zij zelf vaak geen goede voorstelling hebben van het begrip en identificeerde slechts 11% van de ondervraagde docenten de mol met de juiste definitie “hoeveelheid stof” of “chemische hoeveelheid”. Ook de docenten die hun medewerking verleenden aan dit onderzoek spraken niet over de grootheid “chemische hoeveelheid” wanneer gevraagd werd naar hun definitie behorende bij de eenheid *mol* (zie tabel 3). Opvallend is dat ook in dit onderzoek, net zoals in eerdere onderzoeken onder docenten een connectie gevonden wordt tussen het getal van Avogadro en de mol. Overigens valt op dat de docent met de minste leservaring de enige is die deze koppeling niet maakt. Afgaande op dit feit, zou het interessant zijn te zien of bijvoorbeeld op een docentenopleiding extra aandacht besteedt wordt aan de introductie van dit begrip op basis van resultaten uit eerdere onderzoeken.

Tabel 3 De definitie van de mol volgens docenten

	Chemische hoeveelheid	Definitie	Aantal
Docent 1		x	
Docent 2		x	x
Docent 3			x
Docent 4			x

Onderzoeksvraag 2

Welke definitie geven lesmethoden bij de chemische hoeveelheid?

Bij het bekijken van de lesmethoden valt op dat in alle methoden de noodzaak voor de invoering van het begrip duidelijk gemaakt wordt a.d.h.v. massa(verhoudingen). Hoewel de inleiding in alle methoden van dezelfde strekking is blijkt de uitwerking hiervan op 4 verschillende manieren te gebeuren. In de methode Pulsar Chemie wordt benadrukt dat massa's uitgedrukt in de atomaire massa-eenheid niet af te wegen zijn en dat een nieuwe grootheid (chemische hoeveelheid) is geïntroduceerd die de gram met de atomaire massa-eenheid verbindt. Na deze korte inleiding volgt de definitie die wordt geïllustreerd a.d.h.v. een voorbeeld.

In de methode Chemie Overal wordt eerst ingespeeld op het feit dat je enkele moleculen niet kunt zien, ruiken, wegen en dat tastbare hoeveelheden van een stof grote aantalen moleculen bevatten. Vervolgens wordt gesteld dat het handig is om daarvoor een standaard aantal voor te nemen en wordt de eenheid mol gekoppeld aan het getal van Avogadro. Opvallend is dat hierbij wel vermeld wordt dat de mol een SI-eenheid is voor hoeveelheid stof, maar dat hier niet verder op in gegaan wordt. De definitie die het boek geeft aangaande de mol geeft de indruk dat de mol een aantal is. (*Een mol is een hoeveelheid stof, uitgedrukt in aantal deeltjes. Eén mol is een 'pakketje' van $6,02 \cdot 10^{23}$ deeltjes. Je noemt dit getal de constante van Avogadro*) Op de website behorende bij het boek (v1.chemieoveral.epn.nl) wordt nogmaals stap voor stap uitgelegd wat de mol is. Hierbij wordt de

mol vergeleken met ‘een getal in de vorm van een woord’ zoals ook dozijn of gros getallen in de vorm van een woord zijn.

In de methode Curie wordt gewerkt met massaverhoudingen (in kg). Hierbij wordt door middel van een analogie (het wegen van muntgeld op het postkantoor) duidelijk gemaakt dat het in de chemie handig is om met een heel groot aantal moleculen te werken i.p.v. met maar enkele. Vervolgens wordt de mol vergeleken met een dozijn en wordt de definitie gegeven. Opvallend is dat bij het geven van de definitie de atomaire massa-eenheid gebruikt wordt terwijl deze in het inleidende verhaal nergens genoemd wordt. De term chemische hoeveelheid wordt in deze methode wel gebruikt, maar er wordt niet expliciet vermeld dat dit een grootheid is terwijl wel vermeld wordt dat de bijbehorende eenheid de mol is. In deze methode wordt zowel door het gebruik van de muntgeld-analogie als het vergelijken van de mol met het dozijn, de mol als telwoord neergezet. Ook op de website behorende bij het boek (www.curie-online.nl) wordt, in de samenvatting, weer melding gemaakt van de mol als aantal deeltjes waarbij ook het getal van Avogadro gebruikt wordt.

In de module Op Groene Vakantie (Nieuwe Scheikunde) wordt de mol stapsgewijs geïntroduceerd a.d.h.v. een verhaal over het leven van John Dalton. Hierin wordt eerst duidelijk gemaakt dat stoffen in bepaalde massaverhoudingen reageren en dat het handig zou zijn om de stoffen in de juiste (massa-) porties te kunnen verkopen. Uiteindelijk wordt aan deze porties de naam mol meegegeven en wordt vermeld dat men tegenwoordig weet hoeveel atomen er in één portie aanwezig zijn. Ook hier wordt weer vermeld dat de mol een eenheid is, maar wordt geen bijbehorende grootheid gegeven (er wordt ergens het woord molmassa genoemd). Door het noemen van het getal van Avogadro wordt ook in deze methode de mol weer verbonden met een aantal. Tabel 4 geeft een korte samenvatting van bovenstaande bevindingen.

Tabel 4 De definitie van mol volgens leerboeken

	Chemische hoeveelheid	Definitie	Aantal
Pulsar Chemie	x	x	
Chemie Overal			x
Curie		x	x
Nieuwe Scheikunde			x

Onderzoeksvraag 3

Hoe wordt de chemische hoeveelheid aan leerlingen uitgelegd?

a. Welke benodigde voorkennis wordt geactiveerd?

Tijdens de interviews werd docenten gevraagd op welke manier zij het begrip mol zelf introduceren (nadat al gesproken was over de manier die de gebruikte lesmethode hanteert). Docent 2 en 4 introduceren het begrip a.d.h.v. een simpele reactievergelijking waarna de massa's van de moleculen uitgedrukt worden in de atomaire massa-eenheid. Met deze massa's wordt een massaverhouding bepaald waarin moleculen met elkaar reageren en hierna wordt een brug geslagen tussen de atomaire massa-eenheid en de gram door de mol te introduceren. Docent 1 doet hetzelfde, maar laat een reactievergelijking achterwege. Docent 3 geeft een simpele reactievergelijking, stelt dat er nooit maar enkele moleculen zijn en werkt toe naar het getal van Avogadro.

Zowel in het boek Pulsar Chemie als in Chemie overal en de module Op Groene Vakantie worden atoommassa en molecuulmassa uitvoerig behandeld in de paragraaf voorafgaand aan de paragraaf die de chemische hoeveelheid introduceert. Leerlingen hebben dus al geleerd te werken met de

atomaire massa-eenheid. In de methode Curie start het hoofdstuk met de introductie van de mol en zijn leerlingen 3 hoofdstukken daarvoor bezig geweest met de atomaire massa-eenheid. Meer uitvoerige informatie over het activeren van voorkennis bij de methoden is te vinden bij de resultaten op onderzoeksvraag 2. Een samenvatting van bovenstaande is te vinden in tabel 5.

Tabel 5 Geactiveerde voorkennis door docenten en lesmethoden

		Atomaire massa-eenheid	Reactievergelijking	Massaverhouding
Docenten	Docent 1	x		x
	Docent 2	x	x	x
	Docent 3		x	
	Docent 4	x	x	x
Methoden	Pulsar Chemie	x	x	x
	Chemie Overal	x	x	x
	Curie			x
	Nieuwe Scheikunde			x

b. Wordt er gebruik gemaakt van analogieën of voorbeelden en zo ja welke?

Waar docent 1 geen gebruik maakt van analogieën of voorbeelden wordt hier door docenten 2 t/m 4 wel gebruik van gemaakt. Docent 2 gebruikt het voorbeeld van een rol drop om het nut van de nieuwe eenheid te illustreren; als je de massa van één dropje weet en je weet de massa van een hele rol, dan kun je uitrekenen hoeveel dropjes er in die rol zitten. De vergelijking die hij probeert te maken met de chemie is de volgende: als je twee bekenden hebt, te weten de massa van één molecuul (in u) en de massa van de stof (in g) en je deelt deze massa's dan blijkt dat de uitkomst voor ieder molecuul hetzelfde is en kom je vanzelf op het getal van Avogadro. Docent 3 maakt een uitstap naar de natuurkunde en stelt dat de eenheid kWh handiger is om mee te rekenen dan de eenheid J (i.v.m. de grootte van de getallen). Daarnaast wordt een vergelijking getrokken met een voetbal-elftal als zijnde één ploeg bestaande uit 11 personen waarmee gesuggereerd wordt dat de mol te zien is als één grote hoop bestaande uit $6,022 \cdot 10^{23}$ (N_A) moleculen. Hiermee wordt de mol wederom aangeduid als telwoord. Ook docent 4 legt de nadruk op de mol als telwoord door een dozijn of een miljard te gebruiken als voorbeeld. Daarnaast wordt door docent 4 nog een beroep gedaan op het voorstellingsvermogen van de leerlingen door te noemen dat een miljardair veel geld heeft, maar dat men zich niet voor kan stellen hoeveel dat precies is.

In de methode Pulsar Chemie wordt enkel ingegaan op het voorstellingsvermogen van de leerlingen door voor te stellen dat als er één mol knikkers op aarde zouden zijn er een knikkerlaag van 5 km rond de aarde zou liggen. In Chemie Overal worden telwoorden gebruikt als kratten en dozijn en wordt kort vermeld dat de mol is ingevoerd omdat het gemakkelijk is een hoeveelheid stof uit te drukken in een zodanige eenheid, dat je onmiddellijk kunt zien hoeveel deeltjes er zijn. In de methode Curie wordt het nut van de mol geïllustreerd a.d.h.v. muntgeld op het postkantoor; hier wordt het muntgeld gewogen en daarmee wordt uitgerekend hoeveel munten er aanwezig zijn. In de module Op Groene Vakantie worden in de tekst geen voorbeelden/analogieën gebruikt. Tabel 6 geeft een overzicht van bovenstaande tekst.

Tabel 6 Het gebruik van analogieën/voorbeelden

		Tellen	Nut	Voorstellings- vermogen	Nee
Docenten	Docent 1				x
	Docent 2		x		
	Docent 3	x			
	Docent 4	x		x	
Methoden	Pulsar Chemie			x	
	Chemie Overal	x			
	Curie	x	x		
	Nieuwe Scheikunde				x

c. Welke verwerkingsopgaven worden er gebruikt?

De meeste docenten geven aan dat ze voor verwerking de opgaven uit het boek aanvullen met extra toepassingsgericht opgaven die vaak verderop in het hoofdstuk aan de orde komen (bv. stoichiometrische opgaven).

Bij het bekijken van de lestmethoden valt op dat hoewel de lestekst in de methode Curie summier is, er juist veel verschillende verwerkingsopgaven en een experiment voorhanden zijn. Pulsar Chemie en Chemie Overal volstaan met een aantal omrekenvraagstukken en komen later in het hoofdstuk terug met stoichiometrische vraagstukken. In de module Op Groene Vakantie worden enkel een aantal omrekenopgaven gegeven.

Onderzoeksvraag 4

Welke problemen ondervinden leerlingen, volgens de docent, bij de invoering van het begrip?

Volgens de ondervraagde docenten zijn begripsproblemen bij leerlingen vaak te wijten aan het voorstellingsvermogen, de rekenvaardigheid en het modelmatig/analytisch denkvermogen van de leerlingen. Leerlingen kunnen zich moeilijk iets voor stellen bij de grote hoeveelheid deeltjes die in 1 mol aanwezig is. Volgens docent 1 begrijpen leerlingen niet dat de mol een eenheid is waardoor ze er ook niet als zodanig mee kunnen rekenen. Docent 2 signaleert weinig problemen maar ziet bij een enkeling dat deze de aantallen in een reactievergelijking ziet als massa-eenheden. Docenten 3 en 4 merken op dat leerlingen zich niets bij dit grote aantal kunnen voorstellen (model-denken). De manier waarop docenten de problemen van leerlingen interpreteren is vanzelfsprekend gekleurd door hun eigen denkbeelden over het begrip.

Onderzoeksvraag 5

In welke mate zijn docenten op de hoogte van suggesties die gedaan worden voor verbetering van het onderwijs (op het gebied van de chemische hoeveelheid)?

Docent 1 is niet op de hoogte van onderzoeken op het gebied van chemische hoeveelheid, maar zou wel bereid zijn om eventuele suggesties toe te passen in zijn lessen. Docent 2 heeft over dit onderwerp de nodige artikelen gelezen en geeft aan telkens af te wegen of de suggesties in de artikelen meer perspectief bieden in de les dan zijn eigen verhaal tot dan toe. Docenten 3 en 4 zijn niet op de hoogte van onderzoeken op het gebied van chemische hoeveelheid.

Onderzoeksvraag 6

Indien zichtbaar: Op welke wijze worden suggesties ter verbetering van het onderwijs (op het gebied van de chemische hoeveelheid) doorgevoerd in lesmethoden?

Onno de Jong (Jong, 1990) suggereerde in zijn proefschrift dat het goed zou zijn om bij een eerste introductie met het begrip chemische hoeveelheid het getal van Avogadro naar de achtergrond te schuiven. Hoewel het getal van Avogadro inmiddels verdwenen is uit de examenstof speelt het nog steeds een prominente rol in de meest gebruikte lesmethoden. In de docenthandleiding van het boek Pulsar Chemie wordt vermeld dat het getal van Avogadro niet meer tot de examenstof behoort, maar dat het toch nog opgenomen is in de vorm van een “weetje”. De docenthandleiding van het boek Pulsar Chemie benadrukt daarnaast dat zij, in navolging van Henny Kramers-Pals die in haar proefschrift heeft gewezen op slordig taalgebruik bij scheikundeleraren, aanbevelen om de grootheid chemische hoeveelheid te hanteren wanneer gesproken wordt over de mol. De docenthandleiding van de twee andere methoden bevatten noch tips ten aanzien van de introductie van het begrip noch verwijzingen naar eerdere onderzoeken.

5. Conclusies

Terugkijkend naar de onderzoeksvragen is te concluderen dat zowel bij docenten als in lesmethoden het mol-concept vaak gekoppeld wordt aan het getal van Avogadro en/of aan een aantal deeltjes. Opvallend hierbij is dat de docent met de minste leservaring deze koppeling niet maakt. Afgaande op dit feit zou het interessant zijn te onderzoeken of er in lerarenopleidingen tegenwoordig wellicht meer aandacht besteed wordt aan dit probleem dan een aantal jaren geleden. Ook bij het bekijken van de methoden was er één uitzondering aangaande de koppeling tussen de mol en het getal van Avogadro. In het boek Pulsar Chemie wordt deze brug niet gelegd en wordt juist de nadruk gelegd op het gebruik van *chemische hoeveelheid* als grootheid behorende bij de eenheid *mol*. Zoals de docenthandleiding doet vermoeden is Pulsar Chemie dan ook de enige methode die zichtbaar op de hoogte is van onderzoeken omtrent het mol-probleem.

Over het algemeen lijkt in het huidige onderwijs de nadruk nog steeds te liggen op het rekenen met de mol en dus de betekenis van mol als aantal terwijl, volgens de literatuur, de nadruk meer zou moeten liggen bij de mol als bepaalde massa stof. Bovenstaande resultaten zijn in lijn met eerdere onderzoeken die stellen dat er een sterke koppeling is tussen de mol en het getal van Avogadro bij zowel docenten als in lesboeken. Ook in het onderzoek van Onno de Jong (Jong, 1990) waarin Nederlandse lesmethoden bekeken worden wordt geconcludeerd dat in het overgrote deel van deze methoden de mol primair beschouwd wordt als getal terwijl, volgens de Jong, de nadruk zou moeten liggen op het meten met dit begrip zodat aan mol primair de betekenis van bepaalde massa stof wordt toegekend.

Het introduceren van de grootheid *chemische hoeveelheid* met de daarbij behorende eenheid *mol* verdient een zorgvuldige aanpak. Leerlingen hebben er baat bij dat ze dit begrip snel onder de knie hebben. Ze moeten er immers hun hele verdere scheikunde-carrière mee kunnen werken. Op basis van analyse van een aantal lesmethoden en interviews met een 4-tal scheikunde docenten zijn een aantal belangrijke kernpunten naar voren gekomen.

Volgens docenten ondervinden leerlingen (begrips)problemen omdat zij een gebrek hebben aan voorstellingsvermogen, rekenvaardigheid en analytisch/modelmatig denkvermogen. Waarschijnlijk zijn bovenstaande constatering niet de kern van het probleem, maar slechts een gevolg. Mijns inziens is het merendeel van de problemen als volgt te voorkomen:

- Door zowel docenten als methoden op één lijn te krijgen wat betreft het eenduidig doceren van het mol-begrip.
- Door bij de introductie de eenheid *mol* te koppelen aan de grootheid *chemische hoeveelheid*.
- Door te benadrukken dat het gaat om een bepaalde massa stof.
- Door de koppeling met het getal van Avogadro zo veel mogelijk naar de achtergrond te schuiven of het te vermijden in zowel lesmethode als lespraktijk.
- Door leerlingen duidelijk te maken wáárom de mol een handige eenheid is om mee te werken.

6. Discussie

Terugkijkend op het opzetten van het onderzoek, de uitvoering ervan, de verwerking van de resultaten en het inzichtelijk maken hiervan zijn een aantal opmerkingen te plaatsen. Bij het schrijven van het onderzoeksplan realiseerde ik me dat het aanboren van de juiste literatuur van wezenlijk belang is voor het formuleren van de juiste onderzoeksvragen. Helaas was er weinig Nederlandse literatuur, slechts één enkel Nederlands onderzoek uit 1990, voorhanden over dit onderwerp zodat ik mij moest verlaten op onderzoeken uit het buitenland. Zowel het nederlandse onderzoek als de buitenlandse onderzoeken vormden samen een stevige basis voor het uitgevoerde onderzoek. Hierbij moet echter wel de kanttekening geplaatst worden dat de meest recente onderzoeken uitgevoerd zijn in het buitenland (en dus niet in Nederland) en dat moeilijk te achterhalen is of de resultaten van deze onderzoeken bekend zijn bij nederlandse docenten en/of schrijvers van de nederlandse lesmethoden.

De analyse van de onderzoeksresultaten is veelal gebeurd a.d.h.v. een coderingssysteem wat opgezet is met behulp van de uitkomsten uit eerdere onderzoeken. Het coderingssysteem is vooraf voorgelegd aan twee experts en door deze experts logisch en valide bevonden.

Docenten

De uitvoering van het onderzoek begon met een literatuurstudie en het aanschrijven van docenten. Het afnemen van de interviews heeft plaatsgevonden in de periode voordat de literatuurstudie definitief afgerond was. Mede hierdoor heb ik tijdens de interviews vragen gesteld die uiteindelijk niet in de resultaten van dit onderzoek zijn opgenomen of zijn vragen anders geformuleerd dan op basis van de literatuurstudie verwacht zou worden. (Voor een uitgebreid overzicht van de vragen uit het interview en de antwoorden van de docenten zie bijlage C.) De vragen 6 t/m 8 zijn later toegevoegd aan de vragenlijst en zijn per email door de betreffende docenten beantwoord (bijlage B en F)

Zoals ook al vermeld is in het hoofdstuk methoden zijn tijdens interviews de antwoorden van de docenten enkel vastgelegd door het maken van notities. Deze werkwijze heeft mij beperkte ruimte gegeven voor een eigen interpretatie van de gegeven antwoorden. Bij nader inzien was het beter geweest de interviews vast te leggen op tape zodat er later transcripts van gemaakt konden worden.

Dit zou ten goede zijn gekomen aan de betrouwbaarheid van dit onderzoek, immers op deze manier zouden de resultaten gecontroleerd kunnen worden door een tweede beoordelaar.

De grootte van de steekproef was klein waardoor het mogelijk is dat de invloed van individuele verschillen tussen de docenten groot kan zijn. Op basis van bovenstaande constatering kan dit onderzoek het beste gezien worden als een oriënterend onderzoek voor de huidige situatie in Nederland.

Lesmethoden

Over de grootte van het sample van onderzochte lesmethoden zou hetzelfde gezegd kunnen worden als over de grootte van het sample van de docenten, echter de meest gebruikte lesmethoden in Nederland zijn bij dit onderzoek betrokken wat een representatief beeld zou moeten opleveren aangaande het onderwijs in Nederland. Daarnaast is ook een module van de Nieuwe Scheikunde opgenomen die representatief zou moeten zijn voor de toekomst van het scheikunde-onderwijs.

Suggesties voor vervolgonderzoek

Gezien het oriënterende karakter van dit onderzoek zijn er vele suggesties mogelijk voor toekomstig onderzoek. Ervan uitgaande dat vervolgonderzoek zich richt op de huidige situatie in Nederland zou het interessant zijn wat dieper in te gaan op de volgende zaken:

- Op welke manier geven docentenopleidingen (zowel WO als HBO) aandacht aan het molprobleem binnen de opleiding.
- Wat is volgens Nederlandse scheikundedocenten de definitie van de mol (grote steekproef)?
- In hoeverre heeft het beeld van de docent over de mol invloed op het beeld van de leerling?
- Wat is volgens methodeschrijvers de definitie van de mol?
- In hoeverre heeft het geschetste beeld van de mol (in een lesboek) invloed op het beeld van de leerling?

Vanzelfsprekend zijn er veel meer dan bovenstaande suggesties te noemen om het onderwijs omtrent de mol in kaart te brengen dan wel te verbeteren. Als ik verder zou kunnen gaan met dit onderzoek zou ik beginnen bij het begin. In dit geval ligt dat, mijns inziens, bij de verschillende docentenopleidingen. Immers hier wordt de docent opgeleid om zijn leerlingen les te kunnen geven over o.a. de mol. Het zou interessant zijn te zien hoe een docentenopleiding aandacht geeft aan de problemen die bij leerlingen ontstaan tijdens de introductie van dit begrip. Vervolgens zou het in navolging van dit onderzoek nuttig zijn om een groot aantal scheikundedocenten te bevragen over hun beeld van de mol en om evt. te inventariseren hoe zij de mol doceren aan hun eigen leerlingen. Een derde stap zou zijn om ook de schrijvers van lesmethoden te bevragen over het molbegrip.

Referenties

- de Jong Onno** Chemisch rekenen: kruis of mol? [Tijdschrift] // NVON Maandblad. - 1991. - 3 : Vol. 16. - pp. 85-88.
- Furió Carlos, Azcon Rafael en Guisasola Jenaro** The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': A review of literature [Tijdschrift] // Chemistry education: research and practice in europe. - 2002. - 3 : Vol. 3. - pp. 277-292.
- Furió Carlos, Azcona Rafael en Guisasola Jenaro** Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole' [Tijdschrift] // International journal of science education. - 2000. - pp. 1285-1304.
- Furió Carlos, Azcona Rafael en Guisasola Jenaro** The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': A review of literature [Tijdschrift] // Chemistry education: research and practice in europe. - 2002. - 3 : Vol. 3. - pp. 277-292.
- Gabel D. en Sherwood R. D.** Analyzing difficulties with mole-concept task by using familiar analog tasks [Tijdschrift] // Journal of Research in Science Teaching. - 1984. - Vol. 21. - pp. 843-851.
- Gorin George** Mole and Chemical Amount [Tijdschrift] // Journal of Chemical Education. - 1994. - 2 : Vol. 71. - pp. 114-116.
- Hawthorne Robert M.** The Mole and Avogadro's Number [Tijdschrift] // Journal of Chemical Education. - 1973. - 4 : Vol. 50. - pp. 282-284.
- Herron J. Dudley** The Chemistry Classroom [Boek]. - Washington D.C. : American Chemical Society, 1996.
- Jensen William B** The Origin of the Mole Concept [Tijdschrift] // Chemical Education Today. - 2004. - 10 : Vol. 81. - p. 1409.
- Jong Onno de** Rekenen aan reakties [Boek]. - Utrecht : [sn], 1990.
- Padilla Kira [et al.]** Undergraduate Professors' pedagogical content knowledge: the case of 'amount of substance' [Tijdschrift] // International journal of science education. - 2008. - pp. 1389-1404.
- Padilla Kira en Furio-Mas Carles** The importance of history and philosophy of science in correctin distorted views of 'amount of substance' and 'mole' concepts in chemistry teaching [Tijdschrift] // Science & Education. - 2008. - pp. 403-424.
- Staver John R. en Lumpe Andrew T.** A content analysis of the presentation of the mole concept in chemistry textbooks [Tijdschrift].
- Staver John R. en Lumpe Andrew T.** A Content Analysis of the Presentation of the Mole Concept in Chemistry Textbooks [Tijdschrift] // Journal of research in science teaching. - 1993. - 4 : Vol. 30. - pp. 321-337.
- Staver John R. en Lumpe Andrew T.** Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving [Tijdschrift].

Stromdahl Helge, Tullberg Aina en Lybeck Leif The qualitatively different conceptions of 1 mol [Tijdschrift] // International Journal of Science Education. - 1994. - 1 : Vol. 16. - pp. 17-26.

Tullberg Aina, Stromdahl Helge en Lybeck Leif Students' conceptions of 1 mol and educators' conceptions of how they teach 'the mole' [Tijdschrift] // International Journal of Science Education. - 1994. - 2 : Vol. 16. - pp. 145-456.

Bijlage A: Interviewschema

Geslacht: Leeftijd Onderwijservaring (in jaren): Bevoegdheid: Vak:	Man/Vrouw 1 ^e /2 ^e graads
HAVO	VWO
1.	Wat is volgens u de definitie van het begrip mol?
2.	Van welke chemiemethode wordt gebruik gemaakt in de bovenbouw?
3.	Op welk moment wordt het begrip mol geïntroduceerd?
a.	Boek:
b.	Zelf:
3.	Boek:
b.	Zelf:
4.	Hoe wordt het begrip mol geïntroduceerd in het boek?
a.	Wordt de geschiedenis van het (ontstaan van het) begrip beschreven, zo ja op welke manier en wat vindt u hiervan?
b.	Wordt er gebruik gemaakt van analogieën/voorbeelden , zo ja welke en wat vindt u hiervan?
c.	Vind u dat er moeilijke/abstracte zinnen gebruikt worden bij de introductie van het begrip en zo ja welke?

e.	Welk soort werkvorm/ verwerkingsopdrachten gebruikt de methode en wat vind u hiervan?	
5.	Hoe wordt het begrip mol door uzelf geïntroduceerd?	
a.	Beschrijving:	Beschrijving:
b.	Maakt u gebruik van analogieën/voorbeelden voor verduidelijking? Voorbeelden:	Maakt u gebruik van analogieën/voorbeelden voor verduidelijking? Voorbeelden:
c.	Gebruikt u evt. een speciale werkvorm /verwerkingsopdracht voor verduidelijking?	

<p>6.</p> <p>a.</p> <p>b.</p> <p>c.</p>	<p>Welke problemen ondervinden leerlingen bij de introductie van het begrip?</p> <p>Voorbeelden:</p> <p>Hoe signaleert u deze problemen bij leerlingen?</p> <p>Hoe lost u deze problemen op?</p>	<p>Voorbeelden:</p>
<p>7.</p> <p>a.</p> <p>b.</p>	<p>Hoe wordt er binnen de sectie omgegaan met dit soort problemen?</p> <p>Welke initiatieven worden gemeenschappelijk genomen?</p> <p>Welke afspraken worden er binnen de sectie gemaakt?</p>	

Bijlage B: Extra vragen aan docenten

- 6) Maakt u bij het onderwerp chemische hoeveelheid gebruik van de docentenhandleiding die geleverd wordt bij de methode?
- 7) Bent u op de hoogte van onderzoeken en eventuele suggestie die gedaan worden ter verbetering van het onderwijs (op het gebied van chemische hoeveelheid)?
- 8) Indien op de hoogte van onderzoeken, bent u bereid/geneigd de suggesties uit dergelijke onderzoeken door te voeren in uw eigen lessen?

Docent 1:

- 6) Ik heb geen docentenhandleiding en die bestaat volgens mij ook niet bij onze methode (chemie overal) Eigenlijk schiet het boek een beetje te kort, maar wat ik van collega's begrijp is ons boek een heel stuk beter dan pulsar. Nou ja, er is goed mee te werken (hoewel het boek voor de derde klassen echt wel zwak is) maar soms moet je dingen net even aanscherpen en een andere draai geven om met je verhaal goed voor de dag te komen.
- 7) Ik ken die onderzoeken niet maar misschien komt er wel een keer een verhaal langs in de NVON. Op internet kun je wel vrij veel info vinden over het begrip chemische hoeveelheid, maar het meeste daarvan is toch niet echt geschikt voor in mijn les. Eigenlijk houd ik het momenteel het er vooral op dat het begrip mol erg slim geklozen is, net zoals liter, kilogram en dm³ slim met elkaar in verband houden.
- 8) Zoals ik al in de vorige vraag aangaf ken ik die onderzoeken niet. Ik ben best nieuwsgierig om te horen wat daarin wordt voorgesteld. Zou je me iets daarover kunnen mailen. Overigens is chemische hoeveelheid niet het enige moeilijke concept. Ook het hele idee dat microscopische moleculen en macroscopisch stoffeigenschappen kunnen verklaren is een hele lastige. In de scheikunde gaan we voortdurend tussen die werelden heen en weer en dat is heel lastig voor leerlingen. In de derde begrijpen ze er echt helemaal niets van en later vaak ook niet zoveel. Ik probeer daar nu iets mee te doen, maar dat is echt heel erg lastig.

Docent 2:

- 6) Ik zal je zeggen dat ik lang geleden 1 keer een docentenhandleiding heb ingekeken. Ongetwijfeld een van Wolters-Noordhoff (toen). Ik had daar een hoge verwachting van. De inhoud er van viel me toen zo tegen dat ik daarna nooit meer een docentenhandleiding heb ingekeken. Ik keek vooral naar mijn leerlingen. en naar de overhoringen en proefwerken die ze maakten. Dat waren voor mij de graadmeters om mijn uitleg te verbeteren. Soms had ik weer eens een interessant boek of artikel gelezen op iemand op een congres horen praten en dan probeerde ik de goede dingen daaruit te halen en in mijn lessen toe te passen. ook haalde ik verbeteringen voor mijn uitleg uit de vele keren dat ik een leerling een bijles gaf. Daar kreeg ik al doende kijk op de misvattingen of gebreken in hun kennis en inzichten. Ik heb ook zelden de tekst van een leerboek als uitgangspunt genomen voor mijn lessen. Gewoonlijk ging ik de leerlingen over een bepaald onderwerp allerlei vragen stellen om langzaam maar zeker mijn onderwerp te benaderen een al of niet met proeven en sommetjes verder uit te leggen. Tegen de tijd dat er een overhoring kwam of een proefwerk namen we in een les het betreffende hoofdstuk uit het boek nog eens door. Zo hadden ze twee "bronnen". Dat zal in het begin van je carrière misschien niet vanzelf gaan.
- 7) Wat je tweede vraag betreft: Wie met zijn vak in de weer is doet dit automatisch. Je wilt up to date blijven. Dus je oriënteert je op allerlei terreinen. Zo ging het tenminste met mij. Maar bij lastige onderwerpen als "de chemische hoeveelheid" moet je je niet al te veel voorstellen

van die vernieuwingen. Ik heb over dit onderwerp best de nodige artikelen gelezen. Telkens weeg je af of ze meer perspectief bieden in de les dan je eigen verhaal tot dan toe. Sommige benaderingen van dit onderwerp zijn ofwel veel te omvangrijk of te gecompliceerd, niet goed uitvoerbaar in een klas met 28 leerlingen of te simplistisch. Ook hier geldt weer: jij bent degene die het moet uitventen.

- 8) En hiermee is uiteindelijk ook de laatste kwestie beantwoord: Je bent bereid om je eigen verhaal te wijzigen, aan te passen of geheel te vervangen als het aangeboden NAAR JOUW inschatting een MEERWAARDE heeft. Dat is niks nieuws. Als er bij jou iemand aan de deur komt met een nieuw soort stofzuiger doe je eigenlijk hetzelfde.

Docent 3 en 4:

- Maken geen gebruik van de docentenhandleiding.
- Zijn niet op de hoogte van onderzoeken.

Bijlage C: Notities interviews

7

Interview

Geslacht: Leeftijd Onderwijservaring (in jaren): Bevoegdheid: Vak:	Man/Vrouw 41 10 1/2 jr 1 ^o /2 ^e graads SK
--	---

	HAVO	VWO
1.	Wat is volgens u de definitie van het begrip mol? één mol c.s heeft een massa v. 12,000 g precies	
2.	Van welke chemiemethode wordt gebruik gemaakt in de bovenbouw? Chemie	
3.	Op welk moment wordt het begrip mol geïntroduceerd?	
a.	Boek:	Boek:
b.	Zelf:	Zelf:
4.	Hoe wordt het begrip mol geïntroduceerd in het boek?	
a.	Wordt de geschiedenis van het (ontstaan van het) begrip beschreven, zo ja op welke manier en wat vindt u hiervan? nee	
b.	Wordt er gebruik gemaakt van analogieën/voorbeelden , zo ja welke en wat vindt u hiervan?	

c. Vind u dat er **moeilijke/abstracte** zinnen gebruikt worden bij de introductie van het begrip en zo ja welke?

e. Welk soort **werkvorm/ verwerkingsopdrachten** gebruikt de methode en wat vindt u hiervan?

5. Hoe wordt het begrip mol door uzelf geïntroduceerd?

a. Beschrijving:

- ll weten wat ^{1 mol} atomen / moleculen wegen in u
- als je 1 mol ^{1 mol} hebt dan heb je 98g.
- grootte = chemische hoeveelheid
eenh = mol.

→ wordt verward met hoeveel. (const v Avog.)
ze kunnen niet rekenen

Beschrijving:

b. Maakt u gebruik van **analogieën/voorbeelden** voor verduidelijking?

Voorbeelden:

nee

Voorbeelden:

c.	Gebruikt u evt. een speciale werkvorm / verwerkingsopdracht voor verduidelijking?	<p>boek.</p> <p>evt. wel extra vragen bij begeleidingsles.</p>
6.	Welke problemen ondervinden leerlingen bij de introductie van het begrip?	
a.	<p>Voorbeelden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ik kunnen het niet als een eenheid gebruiken → - ze begrepen het begrip niet 	<p>Voorbeelden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rekenen gaat niet goed - kunnen er niet mee omgaan
b.	Hoe signaleert u deze problemen bij leerlingen?	
c.	Hoe lost u deze problemen op?	
	<p>a.d.h.v. vragen die ik stellen</p> <p>zelf vragen aan ik stellen → Dio.</p> <p>nog eens bespreken (indiv) ↓ andere manier</p>	
7.	Hoe wordt er binnen de sectie omgegaan met dit soort problemen?	
a.	Welke initiatieven worden gemeenschappelijk genomen?	
b.	Welke afspraken worden er binnen de sectie gemaakt?	

2

Interview

Geslacht:	Man/Vrouw
Leeftijd:	63
Onderwijservaring (in jaren):	38
Bevoegdheid:	1 ^o /2 ^o graads
Vak:	SK, ANW, NLT

	HAVO	VWO
1.	Wat is volgens u de definitie van het begrip mol? - zoveel gram vte stof als de molmassa bedraagt - N ₄ deeltjes	
2.	Van welke chemiemethode wordt gebruik gemaakt in de bovenbouw? Chemie (85) 4 ^e Chemie (95) 4 ^e	
3.	Op welk moment wordt het begrip mol geïntroduceerd?	
a.	Boek: 4 ^e midden	Boek: 4 ^e midden
b.	Zelf: ook	Zelf: ook

4.	Hoe wordt het begrip mol geïntroduceerd in het boek?	
a.	Wordt de geschiedenis van het (ontstaan van het) begrip beschreven, zo ja op welke manier en wat vind u hiervan? nee nee	
b.	Wordt er gebruik gemaakt van analogieën/voorbeelden , zo ja welke en wat vind u hiervan? - paperclips - pinhaise wörden niet gebruikt in de les om mee te beginnen	

totaloverzicht is weg door het in kleine stapjes te geven.

c. Vind u dat er **moeilijke/abstracte** zinnen gebruikt worden bij de introductie van het begrip en zo ja welke?

nee

nee

alle moeilijke woorden zijn weg

("kinderachtig" / simpel)

c. Welk soort **werkvorm/ verwerkingsopdrachten** gebruikt de methode en wat vindt u hiervan?

- geen niveau blijft hangen op te weinig inzicht.

5. Hoe wordt het begrip mol door uzelf geïntroduceerd?

a. Beschrijving:

- Rol diep $\frac{\text{massa}}{\text{massa-eenheid}} = \text{aantal of volume}$
 \rightarrow in het lab kun je alleen wegen
 - 2 bekenden \rightarrow massa-eenheid
 \rightarrow atoommassa's \rightarrow RV in aantallen
 $\rightarrow \frac{\text{massa C}(g)}{\text{massa-eenh. C}(u)} = \frac{\text{massa Fe}(g)}{\text{massa-eenh. Fe}(u)} = \frac{1g}{1u}$

Beschrijving:

deardieure

naar onder wereld

ook via gassen

b. Maakt u gebruik van **analogieën/voorbeelden** voor verduidelijking?

Voorbeelden:

- diep
 - deardieure

Voorbeelden:

$1u = \text{massa H-atom} = \dots \text{ kg}$
 \downarrow
 N_A

$\frac{\text{volume}}{\text{volume-eenh}} = \text{aantal}$
 $(m) \cdot M = (m) \cdot n$

3 formules kennen, ook neg lading.

Bijlage D: Cross-case analyse interviews

	Docent 1	Docent 2	Docent 3	Docent 4
1. Wat is volgens u de definitie van het begrip mol?				
Chemische hoeveelheid				
Definitie	x	x		
Aantal		x	x	x
2. Hoe wordt het begrip mol door uzelf geïntroduceerd?				
Atomaire massa-eenheid	x	x		x
Reactievergelijking			x	x
Massaverhouding	x	x		
3. Maakt u gebruik van analogieën /voorbeelden?				
Tellen			x	x
Nut		x		
Voorstellingsvermogen				x
Nee	x			
4. Gebruikt u evt. een speciale verwerkingsopdracht?				
Omrekenen				
Stoichiometrische opgaven		x	x	x
Stoichiometrische experimenten				
Nee	x			
5. Welke problemen ondervinden leerlingen, volgens u, bij de introductie van het begrip?				
Voorstellingsvermogen	x		x	x
Eenheid	x			
Massa		x		
6. Hoe signaleert u begripsproblemen bij leerlingen?				
Vragen gesteld door leerlingen	x			
Onderwijs-leer-gesprek			x	x
Proefwerk/overhoring	x			x
Tijdens zelfwerkzaamheid			x	x
Geen antwoord		x		
7.				

Bijlage E: Cross-case analyse lesmethoden

	Pulsar Chemie	Chemie Overall	Curie	Nieuwe Scheikunde
Definitie volgens boek				
Chemische hoeveelheid	x		x	
Definitie	x	x	x	
Aantal		x	x	x
Noodzaak invoering begrip				
Massaverhouding	x	x	x	x
Tastbare hoeveelheden (porties)	x	x	x	x
Gebruik van analogie				
Tellen		x	x	
Nut			x	
Voorstellingsvermogen	x			
Nee				x
Verwerking				
Omrekenen met massa	x	x	x	x
Omrekenen met N_A		x		
Stoichiometrische opgaven			x	
Stoichiometrische experimenten			x	