

Molbehoud en Ionisatievraagstukker.

O. de Jong

Vakgroep Chemie-Didactiek, R.U.-Utrecht

Samenvatting

Uit een verkennend onderzoek naar het functioneren van het molbegrip bij HAVO-leerlingen blijkt, dat bijna de helft van de onderzochte groepjes leerlingen bij het oplossen van ionisatievraagstukken gebruik maakt van de onjuiste regel: behoud van aantal molen. Dit verschijnsel kan het gevolg zijn van het feit dat deze groepjes bij het werken met mol de bijbehorende deeltjes gebrekkig specificeren of geheel achterwege laten.

1. Inleidende opmerkingen over de mol

Dit artikel heeft betrekking op een verkennend onderzoek naar de wijze waarop bij HAVO-leerlingen het molbegrip functioneert tijdens het oplossen van ionisatievraagstukken. Voordat dit onderzoek meer uitvoerig besproken wordt, zal hier eerst ingegaan worden op dat begrip mol en het gebruik ervan in het HAVO-onderwijs.

De mol behoort tot een van de zeven grootheden van het SI-stelsel en is daarbij gekoppeld aan de basisgrootte 'hoeveelheid stof'. Deze karakterisering van de mol is terug te vinden in een van de eerste tabellen van het BINAS-informatieboek voor leerlingen HAVO en VWO (tabel 3), hoewel verderop in dit boek ook de volgende aanduiding van de mol te vinden is: $1 \text{ mol} = N_A$ deeltjes (tabel 37). Een beschrijving van de mol als een dubbelzinnig begrip is ook terug te vinden in vrijwel alle leerboeken voor HAVO. Enerzijds wordt de mol in deze leerboeken weergegeven als een specifieke verzameling deeltjes: $6,0 \times 10^{23}$ deeltjes (bij benadering). Daarbij komt nog dat in sommige leerboeken deze beschrijving verkort is tot een specifiek aantal, waardoor in dat geval de mol en het Getal van Avogadro synonieme begrippen zijn geworden. Anderzijds wordt de mol in vrijwel alle leerboeken ook opgevat als een specifieke portie stof (noot 1). Zo wordt gesproken van: 1 mol stof heeft een massa

van M gram. En: 1 mol gas heeft een volume van $22,4 \text{ dm}^3$ bij standaardomstandigheden. Beide beschrijvingswijzen van de mol weerspiegelen twee verschillende opvattingen over 'de materie'. De beschrijving van de mol als een 'verzameling deeltjes' past in het denken over de materie als een discontinu geheel, terwijl de beschrijving van 'portie stof' aansluit op het denken over de materie als een continu geheel (noot 2). Beide beschrijvingswijzen van de mol zijn ook terug te vinden in het huidige leerplan scheikunde HAVO voor rijksscholen, zij het dat de beschrijving zeer summier en onvolledig is: 'begrip mol (= N deeltjes)' en 'volume van een mol gas'. Het ziet er overigens naar uit dat in het nieuwe 'Rijksleerplan' voor HAVO het molbegrip meer uitvoerig en volledig beschreven zal worden (noot 3).

Van leerlingen wordt verwacht dat zij in staat zijn om heen-en-weer te denken tussen het 'macroscopische' terrein van verschijnselen en het 'microscopische' terrein van deeltjes-modellen als moleculen en atomen.

Hier ligt een belangrijk motief om het begrip mol in te voeren in het onderwijs. Dit begrip biedt leerlingen de gelegenheid te leren om relatief eenvoudige kwantitatieve relaties te leggen tussen macroscopische begrippen als massa en volume en een microscopisch begrip als aantal deeltjes. Een ander motief om het begrip mol te introduceren heeft betrekking op het feit dat dit begrip in de scheikunde bij een groot aantal uiteenlopende onderwerpen wordt toegepast. Daarbij valt te denken aan het karakteriseren van een willekeurige oplossing met behulp van begrippen als molariteit of zuurgraad (pH) of aan het beschrijven van een reactie met behulp van een stoichiometrische molverhouding.

Ook valt te denken aan het weergeven van een evenwichtssituatie via een evenwichtsconstante (bijvoorbeeld een K_2 bij een oplossing van een zwak zuur).

Het begrip mol wordt door HAVO-leerlingen niet tot de meest gemakkelijke begrippen gerekend. Zo is uit een ondervraging bij ruim 600 leerlingen gebleken dat bijna 20% van deze groep van mening is dat de mol een onderwerp is dat (zeer) moeilijk is om te begrijpen (De Jong, 1981).

Het ging daarbij om leerlingen in het eindexamenjaar, terwijl de introductie van de mol plaats heeft gevonden in het voorafgaande leerjaar. Berekeningen met de mol bleken door een groter percentage eindexamenleerlingen (zeer) moeilijk gevonden te worden. Misschien worden de ondervonden moeilijkheden ten dele veroorzaakt door het dubbelzinnig karakter van de mol. Er bestaan aanwijzingen dat het specifieke karakter van de mol belemmerend werkt op het vormen van een juiste mentale voorstelling van dit begrip (zie Dierks, 1981).

2. Opzet en uitvoering van het onderzoek

Het onderzoek dat hier beschreven wordt had betrekking op het molbegrip bij HAVO-leerlingen en had als doel na te gaan op welke wijze dit begrip functioneert bij het oplossen van ionisatievraagstukken.

In het kader van het onderzoek ging het om het type vraagstuk, waarbij van een sterk electrolyt een bekende hoeveelheid (in mol) volledig in water is opgelost en het aantal molen ionen berekend moest worden.

Er waren verschillende overwegingen om het begrip mol met dit soort ionisatievraagstukken als invalshoek nader te onderzoeken. In de eerste plaats is er nog weinig bekend over eventuele begripsmatige moeilijkheden bij deze specifieke toepassing van de mol. Bij het oplossen van het genoemde type vraagstukken kunnen leerlingen volstaan met het hanteren van de 'microscopische' betekenis van de mol, maar het is mogelijk dat daarbij de 'macroscopische' betekenis van de mol een storende werking heeft. Een tweede overweging was dat de verkregen kennis van nut kan zijn bij het onderwijs in het oplossen van titratievraagstukken of oplosbaarheidsvraagstukken. Tenslotte was er de pragmatische overweging dat het genoemde onderzoek makkelijk kon worden ondergebracht bij een onderzoek naar het functioneren van het begrip 'molariteit' bij HAVO-leerlingen (noot 4). Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van een zelf-instruerend lespakket over molariteit voor HAVO-4. In dit pakket waren twee verschillende ionisatievraagstukken opgenomen (zie de afgedrukte vraagstukken 1 en 2). Beide vraagstukken sloten op elkaar aan en werden niet voorafgegaan door een aparte instructie over het toepassen van de mol bij ionisatiereacties. De keuze van de twee vraagstukken is mede bepaald door het feit dat het lespakket bedoeld was als vervanging van een paragraaf over molariteit uit een SLO-leerboek (SLO, 1980). In dit leerboek wordt deze paragraaf direct voorafgegaan door een bespreking van het begrip mol. Dit begrip wordt onder meer beschreven als: '1 mol stof bestaat uit 6×10^{23} moleculen' en '1 mol stof heeft een massa van M gram'. Een bespreking van 'ionisatiereacties' had ook al eerder plaatsgevonden.

Begin 1983 is het lespakket, inclusief de beide ionisatievraagstukken, voorgelegd aan 34 leerlingen HAVO-4, verspreid over twee klassen (noot 4). Vrijwel alle leerlingen hebben samengewerkt in groepjes van twee. Ten behoeve van het onderzoek zijn gegevens over het oplossen van de ionisatievraagstukken op twee verschillende manieren verzameld. In de eerste plaats zijn van sommige groepjes geluidsopnamen gemaakt van hun gesprekken tijdens het werken met het pakket in de les. De groepjes waren zo gekozen dat doublanten of doorstromers MAVO ontbraken en dat de leerlingen van middelmatig prestatieniveau waren (naar het oordeel van hun leraar). De opgenomen

groepsgesprekken zijn later uitgetypt tot protocollen. Langs deze weg zijn bij het eerste vraagstuk zes protocollen verzameld en bij het tweede vraagstuk vier protocollen. Daarnaast zijn ook onderzoeksgegevens verzameld door alle groepjes te vragen hun uitgewerkte antwoorden te noteren in een afzonderlijk exemplaar van het lespakket. Zodoende zijn van elk vraagstuk 16 groepsantwoorden verzameld.

De protocollen en uitgewerkte antwoorden zijn vervolgens geanalyseerd. De protocolanalyse was soms enigszins tentatief omdat de geregistreerde uitspraken van leerlingen niet altijd eenduidig te interpreteren waren. De opgenomen protocolfragmenten geven daarvan een indruk.

Vraagstuk 1 met twee protocolfragmenten

Als zouten in water oplossen, splitsen ze zich in ionen. Bij het oplossen van 1 mol calciumchloride ontstaan Ca^{2+} (aq) en Cl^{-} (aq) ionen.

Hoeveel mol ionen ontstaan in totaal ?

(Antwoord: 3 mol ionen)

 Fragment A (twee leerlingen - A en C - hebben na enige discussie bijvakstudent V erbij gehaald).

1. C. *Je hebt 2 Cl, 2 Cl-ionen. En 1 Ca, calcium ionen.*
2. V. *Ja, dat is samen drie, hè.*
3. C. *Ja, drie ionen Maar ik weet niet of dat 3 mol ionen zijn. Is dit, is dit dus*
4. V. *Je hebt 1 mol van dit.*
5. A&C. *Ja.*
6. V. *En dan zeg je, je zegt zelf, als je 1 mol van dit hebt, dan krijg je in totaal 3.*
7. C. *Ja, 3 ionen.*
8. V. *3 ionen. Ja, maar als je 1 mol van dit hebt*
9. A. *Het aantal mol blijft toeg gelijk, lijkt me.*
10. C. *Ik ook.*

 Fragment B (twee leerlingen - E en L - hebben bijvakstudent M te hulp geroepen bij hun discussies).

1. M. *Als je 1 mol calciumchloride oplost, wat gebeurt er dan met het calciumchloride.*
2. E. *Eh.*
3. L. *Nou, dat gaat dan uit elkaar ja.*
4. M. *Er gebeurt wat, hè. Wat ontstaat er dan ?*
5. L. *Oh, 'n halve mol in 't een en 'n halve mol in 't ander.*

3. Resultaten

Uit de analyses van de onderzoeksgegevens bleek dat bij vraagstuk 1 vier groepjes ten onrechte van mening waren dat er 1 mol ionen zou ontstaan. Bij vraagstuk 2 waren drie (andere) groepjes eveneens ten onrechte van mening dat er 0,1 mol van elke ionsoort zou ontstaan.

Bij vijf van deze zeven onjuiste antwoorden was het mogelijk om via de protocollen meer te weten te komen over de wijze waarop deze antwoorden tot stand waren gekomen.

In de eerste plaats bleek dat de (steeds correcte) ionisatievergelijking wel goed werd geïnterpreteerd op het niveau van individuele deeltjes (bijvoorbeeld: 1 'molecuul' \rightarrow 3 ionen), maar dat moeilijkheden ontstonden bij de overgang naar een verzameling deeltjes (de 'microscopische' betekenis van de mol).

In de tweede plaats bleek dat bij het gebruik van de mol de bijbehorende deeltjes als zodanig niet werden genoemd of slechts gebrekkig gespecificeerd.

In de derde plaats bleek dat er twee soorten redeneringen te onderscheiden waren. De meest beknopte redenering die gevolgd werd, is te karakteriseren als: $a \text{ mol} \rightarrow a \text{ mol}$. Een voorbeeld van deze relatie is te vinden in vraagstuk 1, fragment A: uitspraak 9 en 10. Een alternatieve redenering die gevolgd werd, is globaal te beschrijven als: $a \text{ mol} \rightarrow \frac{1}{2} a \text{ mol} + \frac{1}{2} a \text{ mol}$. Een voorbeeld hiervan is te vinden in vraagstuk 1, fragment B: uitspraak 5.

4. Discussie

De waargenomen onjuiste antwoorden zijn het gevolg van een redeneerwijze die gebaseerd is op het beeld dat het totaal aantal molen (niet gespecificeerd) voor en na de ionisatiereactie niet is veranderd. Dit zou betekenen dat leerlingen een behoudsregel hanteren: behoud van aantal molen. Vermoedelijk wordt deze regel ook toegepast door de twee groepjes met onjuist antwoorden waarvan geen protocollen beschikbaar waren. Bijna de helft van de groepjes (7 van de 16) zou dan de genoemde behoudsregel hebben toegepast.

Dat leerlingen bij ionisatiereacties ten onrechte een behoudsregel met betrekking tot de mol gebruiken, zou het gevolg kunnen zijn van het niet of in onvoldoende mate koppelen van de mol aan een specifiek type deeltje. Hierdoor kunnen leerlingen gestimuleerd worden om bij vraagstukken met reactievergelijkingen een redenering te ontwikkelen, die gebaseerd is op kennis van eerder toegepaste behoudsregels rondom reacties.

Vraagstuk 2 met een protocolfragment

Van onderstaande zouten zijn de gegeven hoeveelheden steeds opgelost tot 2,0 liter oplossing:

- 0,20 mol magnesiumsulfaat
- (n.v.t. voor het onderzoek)

Bereken voor elke oplossing het aantal mol van elke ionsoort.
(Antwoord: 0,2 mol Mg^{2+} en 0,2 mol SO_4^{2-}).

(Twee leerlingen - M en S - hebben na enige discussie bijvakstudent V erbij gehaald).

1. M. Dan wordt het 0,20 en dat 0,20. Als dit 1 mol is en dat 1 en dat 1. Maar dit is geen 1, dit is 0,20; dus dat is 0,20 en dat is 0,20. Ja?
2. V. Ja; of vind jij van niet?
3. S. Niet - (M. lacht) -
Als we 0,20 delen door 2; want die samen is 0,20.
4. M. Dat kan eigenlijk niet, want als dat 0,20 is. Nou dit moet gelijk aan dat ...
5. V. Ja.
6. M. Nou, $0,20 + 0,20$ is geen 0,20
7. S. Nee.
8. V. Moet dat aan elkaar gelijk zijn?
9. M. Ik vind van wel.

In de eerste plaats valt daarbij te denken aan de behoudsregel: behoud van aantal atomen (of ionen) van hetzelfde type. Deze regel wordt door leerlingen voornamelijk gebruikt om reactievergelijkingen 'kloppend' te maken. Misschien trekken leerlingen een parallel met deze regel, zodra zij het type deeltje bij de mol niet voldoende specificeren.

In de tweede plaats valt te denken aan de behoudsregel: behoud van massa (Lavoisier). Misschien trekken leerlingen een parallel met deze regel zodra zij het noemen van deeltjes bij de mol achterwege laten en daardoor geneigd raken om te letten op een macroscopische indicator van de mol: een portie stof met een specifieke massa. De transfer van kennis over beide behoudsregels zou dan via een analoge redenering leiden tot het hanteren van een behoudsregel bij de mol.

Met behulp van de opgenomen protocollen is het echter niet mogelijk om vast te stellen welke motieven leerlingen hebben gehad om een molbehoudsregel te gebruiken. Nader onderzoek kan hier meer opheldering verschaffen.

Het resultaat van het beschreven onderzoek, hoe beperkt van opzet ook, versterkt

wel de indruk dat bij de introductie van het molbegrip vanuit een 'microscopisch' perspectief het gewenst is dat er meer aandacht besteed wordt aan de noodzaak om het bijbehorende type deeltje te specificeren. Het gaat er immers om, dat leerlingen leren om een ionisatievraagstuk niet alleen te interpreteren op het niveau van het individuele deeltje, maar ook op het niveau van een verzameling deeltjes.

Noten

1. De 'portie'-opvatting is de oorspronkelijke betekenis van de mol en omstreeks 1902 ontwikkeld door de Duitse chemicus W.Ostwald; deze is tevens de eerste gebruiker van de term 'mol' (Jerrard en McNeill, 1971).
2. Het dubbelzinnige karakter van de mol is terug te vinden in de officiële betekenis van de mol als SI-grondeenheid bij de grootheid 'Hoeveelheid stof'. Volgens de IUPAC-interpretatie is de mol op te vatten als de hoeveelheid stof van een systeem dat evenveel elementaire entiteiten bevat als er atomen zijn in 0,012 kilogram koolstof 12. Daarbij moeten de elementaire entiteiten worden gespecificeerd. Deze beschrijving bevat enerzijds een term die past in het continu-materiemodel, namelijk 'stof', en anderzijds termen uit het discontinu-materiemodel, namelijk 'elementaire entiteiten' en 'atomen'.
3. Deze voorspelling is gebaseerd op het (concept) leerplan scheikunde vwo voor de Rijksscholen (ingediend 6 januari 1982 bij Deetman), waarin over de mol te lezen valt: '1 mol stof bestaat uit $6,0 \times 10^{23}$ deeltjes' en 'de massa van 1 mol stof is $M(A)$ gram', terwijl er ook sprake is van het begrip 'molvolume V_m '.
4. Met dank aan Jim Moerman en Sander van Vucht die in het kader van hun bijvak chemie-didactiek een belangrijke bijdrage hebben geleverd aan de uitvoering van het onderzoek (Moerman en Van Vucht, 1983).
5. Met dank aan de scheikundecenten P.v.d.Linden en R.Loven van het Gooisch Lyceum te Bussum voor hun plezierige medewerking aan het onderzoek.

Literatuur

- Dierks, W. *Teaching the mole*, European Journal of Science Education, 3, 145, 1981.
- Jerrard, H.G., McNeill, D.B. *A dictionary of scientific units*, London: Chapman and Hall, 1971.
- Jong, O. de. *Moeilijke onderwerpen voor leerlingen en leraren bij het HAVO*, (onderzoeksverslag), Utrecht: 1981.

Moerman, J. en Vucht, S. van. *Begripsproblemen rondom concentratie en molariteit*,
(intern bijvakverslag), Utrecht: 1983.

S.L.O. *Chemie 4-havo*, Groningen: Wolters Noordhoff, 1980.