

Chemisch rekenen: kruis of mol?

„Die sommen zeggen me niet zoveel en je raakt bovendien zo snel in de war met die rare mol.” Ziehier een veel voorkomende verzuchting van leerlingen die bezig zijn met „chemische berekeningen” in 4-havo/4-vwo. Elk jaar opnieuw klagen zij over moeilijkheden met dit onderwerp, met name bij het oplossen van opgaven.

De laatste tijd wordt er relatief veel aandacht geschonken aan knelpunten bij de probleemaanpak. Daardoor kan makkelijk de indruk ontstaan dat er slechts weinig moeilijkheden zijn met de kwantitatief-chemische inhoud: stoichiometrie. Dat laatste is echter beslist niet het geval. In onderstaand artikel laat ik enkele markante moeilijkheden met mol de revue passeren. Met het oog op een verklaring analyseer ik vervolgens de gangbare programmering van onderwijs. Tenslotte schets ik een nieuwe, meer „probleemstellende” onderwijsopzet voor stoichiometrisch rekenen.

Toch vormt stoichiometrie geen nieuw onderwerp voor de leerlingen uit 4-havo/4-vwo. In het gangbare onderwijs hebben zij al een jaar eerder kennis gemaakt met de Wet van Proust en met het noteren van molecuulformules en reactievergelijkingen. Buiten beschouwing blijft dan het koppelen van een beschrijving van hoeveelheden van stoffen aan een kwantitatief-corpusculaire voorstelling daarvan. Dat blijft bewaard tot het vierde jaar. Daar komt voor het eerst ook het begrip mol om de hoek kijken.

Dan duiken ook de eerste moeilijkheden op...

Moeilijkheden met mol zijn te onderscheiden in twee categorieën op grond van de context waarin mol figureert: die van stof/deeltjes of van reacties. Een bekend knelpunt uit de eerstgenoemde categorie is het opstellen van een relevante betrekking tussen mol en gram of liter, hetgeen kan leiden tot een (onjuiste) leerlinguitspraak als: „Aantal mol is aantal gram per mol gedeeld door aantal gram”.

Figuur 1 Redeneerwijzen na afloop van onderwijs in mol en stoichiometrie

Opgave 1

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

a. Gelijktstellen van een molverhouding aan een gramverhouding

(De leerling heeft eerst de juiste massa van ijzer(III)oxide berekend, 1700 kg, en daarna als reactievergelijking opgesteld: $3 C + 2 Fe_2O_3 \rightarrow 3 CO_2 + 2 Fe$)

- 01 „Dat is dus je reactievergelijking, uh je hebt 2 mol, 2 mol ijzer (leerling noteert
02 'mol ijz' onder $2 Fe_2O_3$) en 3 mol kooks. En die 2 mol, dat is uh 1700 gram,
03 1700 kilogram. Dus 1 mol is uh de helft ervan, dat is dus die uh 850 kilogram.
04 En uh nou je hebt hier 3 mol kooks. Nou, 1 mol was 850 kg, dus ik denk dat 3 maal
05 850 kilogram is 2550 kilogram kooks nodig is. Nou, dat in m'n antwoord, denk ik.”

b. Negeren van mol door een coëfficiëntenverhouding gelijk te stellen aan een (kilo) gramverhouding

(De leerling heeft eerst genoteerd: $3 C + 2 Fe_2O_3 \rightarrow 4 Fe + 3 CO_2$, daarna berekent hij de juiste massa ijzer(III)oxide: 1700 kg)

- 01 „1700 kg ijzerdricoxide heb je dan, Fe_2O_3 ... en dan moet je weten hoeveel kilo
02 kooks... allemachtig hmm... verhouding is 3 staat tot 2, uh, die 2 staat gelijk
03 met die 1700 kilo, dus 1 is dan uh de helft is dan uh 750, nec, klopt niet, uhm
04 jawel, 750, klopt dat nou, nec verdorie, 850 klopt dat wel, ja, 850 dus dat is 3
05 maal 850, dat is (leerling rekent) ...2550 kilogram kooks, ja.”

In het vervolg zal ik me echter voornamelijk richten op moeilijkheden uit de tweede categorie. Daartoe ben ik bij leerlingen 4-havo/4-vwo nagegaan welke redeneerwijzen zij feitelijk hanteren bij het oplossen van opgaven over mol in een reactiecontext. Enkele belangwekkende bevindingen vat ik hierna samen. Voor meer uitvoerige gegevens verwijs ik de lezer naar mijn proefschrift.¹

Knelpunten na afloop van onderwijs

Allereerst is na afloop van gangbaar onderwijs in mol en stoichiometrie aan zo'n 30 leerlingen, afkomstig van verschillende scholen, gevraagd een voor hen normaal vraagstuk over stoichiometrie op te lossen. Zij mochten daarbij gebruik maken van pen, papier en Binascboekje. Daarnaast dienden zij zoveel mogelijk „hardop-denkend” het vraagstuk op te lossen. Hun mondelinge uitingen zijn op geluidsband vastgelegd en later uitgeschreven tot protocollen. Deze hebben als analysebasis gediend, samen met de schriftelijke antwoorden. De meest opmerkelijke redeneerwijzen zijn, met het aangeboden vraagstuk, weergegeven in figuur 1.

De weergegeven redeneerwijzen zal ik toelichten aan de hand van representatieve uitingen van leerlingen.

* *Gelijktstellen van een molverhouding aan een gramverhouding.*

In protocolfragment a zijn twee soorten onjuiste redeneerwijzen af te lezen. Allereerst stelt de leerling de vooraf berekende massa ijzer(III)oxide van 1700 kg gelijk aan 2 mol ijzer(III)oxide (r. 02). Dit houdt in dat hij de betekenis van de schrijfwijze „ $2 Fe_2O_3$ ” losmaakt van de betreffende reactiecontext. Daardoor kan hij „2 mol ijzer(III)oxide” relateren aan een willekeurige stofhoeveelheid, in dit geval 1700 kg ijzer(III)oxide. Dit leidt vervolgens tot de (onjuiste) uitspraak dat één mol gelijk is aan 850 kg (r. 03). Daarna koppelt de leerling de aldus opgestelde mol-kg betrekking aan de ander reactant, namelijk kooks (r. 04/05). Dat is mogelijk doordat een specificatie van stof (of deeltjes) bij deze betrekking

ontbreekt (r. 04). Op deze wijze wordt een molverhouding uiteindelijk gelijk gesteld aan een kilogramverhouding. Dat is mogelijk dankzij een voortschrijdend gebrek aan interpretatie van mol in een kwantitatief-chemische context. Eerst ontbreekt een koppeling van mol met een specifieke reactiecontext, daarna met een specifieke stofcontext.

* *Negeren van mol door een coëfficiënt-verhouding gelijk te stellen aan een (kilo)gramverhouding.*

Protocolfragment b laat zien dat de leerling aan de coëfficiënten in de reactievergelijking de betekenis toekent van massawaarden, hetgeen leidt tot een gelijkshakeling van coëfficiëntenverhouding en kilogramverhouding (r. 02/04). Hierdoor geeft de leerling aan de schrijfwijze „ $2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ ” ten onrechte een kwantitatief-fysische betekenis (2 kg) in plaats van een kwantitatief-chemische interpretatie (2 mol). Het begrip mol blijft daarbij buiten schot.

Dat leerlingen moeite hebben met het aanvaarden van mol bij chemisch rekenen, moge ook blijken uit de volgende uitlating van een leerling (tijdens het oplossen van de ijzerertsopgave):

„Dat is dus 1700 kilo. 1700 kilo, mmmm... dat zou wel erg eenvoudig zijn, als je het zo mocht doen. (Onderzoeker: *als wat zo was?*). Nou, als... nou ja, je mag niet in kilo's rekenen he, als je 2 kilo ijzeroxide hebt, dan mag je niet zeggen dat je dan 3 kilo kooks nodig hebt... nou, dus gaan we dit even omrekenen in mol”.

Voorgaande redeneerwijzen laten zien dat ook na afloop van onderwijs mol eerder als een obstakel wordt beschouwd dan als een hulp bij rekenen aan reacties.

Knelpunten tijdens onderwijs

Gezien de aard van de gesignaleerde moeilijkheden na afloop van onderwijs, leek het de moeite waard na te gaan welke knelpunten tijdens reële lessituaties kunnen optreden. Ditmaal is het onderzoek uitgevoerd bij enkele honderden leerlingen, afkomstig van verschillende scholen havo/vwo. Tencinde leerlingen te stimuleren ook onder deze omstandigheden hun denkbeelden over mol en stoichiometrie zoveel mogelijk te uiten, is hen gevraagd in kleine groepjes samen te werken. In verband daarmee is een zelfinstruerend lespakket ontworpen. De inhoudelijke structuur daarvan komt in grote trekken overeen met die van relevante delen uit gangbare leerboeken. Een belangrijk verschilpunt vormen echter de opdrachten (vragen, proeven, opgaven). Een belangrijk deel draagt een minder gebruikelijk karakter en is er op gericht leerlingen te stimuleren zoveel mogelijk zelf redeneerwijzen te ontwikkelen over mol in een

reactiecontext. Bij elke opdracht dienen de groepjes intern overleg te voeren tot consensus is bereikt en behoren uitwerking en resultaat schriftelijk te worden vastgelegd.

Ditmaal vormden de antwoorden van ruim 100 groepjes het belangrijkste analysemateriaal, naast protocollen van geluidsopnamen van groeps gesprekken. Enkele opmerkelijke redeneerwijzen zijn, samen met opdrachten, weergegeven in figuur 2.

De weergegeven redeneerwijzen zal ik opnieuw kort toelichten aan de hand van representatieve uitingen van leerlingen.

* *Afwijzen van een verband tussen mol en een reactievergelijking*

Deze redeneerwijze doet zich voor bij een opdracht waarbij de leerlingen voor de eerste maal in de gelegenheid worden gesteld een reactievergelijking te interpreteren in termen van mol (fig. 2, opdr. 1). Een aantal leerlingen wijst deze interpretatiemogelijkheid toch maar van de hand en blijft bij een al eerder geleerde interpretatie, namelijk in termen van een of enkele deeltje(s).

* *Toepassen van een behoudsregel: behoud van aantal mol*

Wat opvalt in veel antwoorden bij deze redeneerwijze, is het ontbreken van een specificatie van de stof (of deeltjes) waarop mol betrekking heeft. Uit een nadere analyse van antwoorden blijkt dat het gebruik van een molbehoudsregel bij opdracht 1 (fig. 2) vermoedelijk voortkomt uit kennis van een meer algemene behoudsregel, namelijk behoud van materie. Zoals bekend is het hanteren van deze regel al bij jonge kinderen aange troffen (Piaget). Bij opdracht 2 (fig. 2) is de molbehoudsregel vermoedelijk het gevolg van kennis van het „klappend”

maken van een reactievergelijking. Daarbij gaat het immers om behoud van aantal corpuscula met dezelfde identiteit.

Leerboekenanalyse

In hoeverre worden de gesignaleerde knelpunten mede opgeroepen door de gangbare programmering van het betreffende onderwijs? Deze vraag is makkelijk te stellen maar niet eenvoudig te beantwoorden omdat allerlei factoren een rol kunnen spelen. Om praktische redenen zal ik me hier beperken tot een beantwoording die is gebaseerd op een analyse van 10 gangbare leerboeken scheikunde voor 4-havo en 4-vwo. Bij deze analyse heb ik vooral gelet op betekenis en functie van mol en op de context waarin mol wordt ingevoerd. De belangrijkste bevindingen volgen hierna.

* **Context van invoering**

In alle leerboeken vindt aanbidding van mol primair plaats in een deeltjescontext (bepaald aantal (deeltjes)), daarna in vrijwel alle gevallen aansluitend in een stofcontext (bepaalde massa stof). De introductie van beide omschrijvingen leidt meestal tot een serie opgaven over omrekeningen tussen enerzijds aantal mol en anderzijds aantal deeltjes of aantal gram stof. Uiteindelijk vindt een overgang plaats naar berekeningen bij reacties, waarin mol eveneens figureert. De stand van zaken is dus vrijwel steeds dat *het functioneren van mol aanvaardbaar geheel los staat van een reactiecontext.*

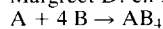
* **Noodzaak van invoering**

Alle leerboeken laten zien dat mol een verbindende functie vervult bij het be-

Figuur 2 Redeneerwijzen tijdens onderwijs in mol en stoichiometrie

Opdracht 1

Margreet D. en Martin G. bekijken de volgende reactievergelijking:



Margreet beweert dat deze vergelijking betekent dat een atoom A reageert met vier atomen B tot een molecuul AB_4 . Martin beweert echter dat een mol A reageert met vier mol B tot een mol AB_4 . Leg bij elke bewering uit of deze juist is.

Opdracht 2

Piet lost 0,20 mol natriumsulfaat op in water tot een eindvolume van 2,0 l. Hoe groot is voor elke ionsoort de molariteit? Leg uit.

* **Afwijzen van een verband tussen mol en een reactievergelijking**

(opdr. 1)

„Margreet D. heeft gelijk omdat het een verhoudingsformule is en het heeft niets met mollen te maken, anders stond er wel mol bij de vergelijking. Martin G. heeft dus geen gelijk”

* **Toepassen van een behoudsregel: behoud van aantal mol**

(opdr. 1)

„Wat Margreet beweert is juist. Wat Martin beweert is onjuist omdat hij zomaar vier mol laat verdwijnen. $A + 4B = AB_4$, 1 mol en 4 mol is 1 mol (volgens Martin)”

(opdr. 2)

„Molariteit van Na-ionen in water: $2/3 \times 0,1 = 0,067$

Molariteit van SO_4 -ionen in water: $1/3 \times 0,1 = 0,033$

Uitleg verhouding: Na_2SO_4 bestaat voor 2/3 uit Na-ionen en voor 1/3 uit SO_4 -ionen”

schrijven van hoeveelheden van reactanten (en/of producten) in termen van deeltjes en in termen van stof. Vervolgens wordt naar deze brugfunctie verwezen bij het legitimeren van mol bij stoichiometrische berekeningen. De motivering van mol wordt verder uitgewerkt aan de hand van een voorbeelduitwerking van een stoichiometrisch vraagstuk. Deze uitwerking heeft vrijwel steeds betrekking op een vraagstuk, waar zowel gegeven als gevraagde hoeveelheden zijn uitgedrukt in gram. Bij de gedemonstreerde berekening wordt expliciet gebruik gemaakt van mol. Hierdoor wordt benadrukt dat dit begrip werkelijk noodzakelijk is voor het vinden van een oplossing. Dat laatste is echter niet terecht, omdat het gegeven vraagstuk ook op te lossen is door uit de betreffende reactievergelijking een deeltjesmassaverhouding af te leiden, uitgedrukt in u, en deze gelijk te stellen aan een stofmassaverhouding, uitgedrukt in gram. Bij deze oplossingroute is mol geheel overbodig.²

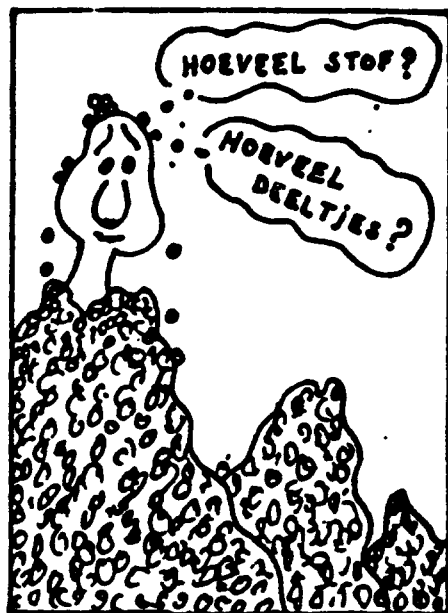
In vrijwel alle gevallen geldt dus dat *de noodzaak van invoering van mol in een reactiecontext niet aannemelijk wordt gemaakt*.

* Omgaan met mol

In de leerboeken wordt mol primair beschouwd als getal (van Avogadro) of als bepaald aantal deeltjes. Dit beeld wordt versterkt door gebruik te maken van analogieën die zijn ontleend aan het dagelijks leven, zoals dozijn. Een soortgelijke overeenkomst die gebaseerd is op een meet/reken-context en daardoor natuurwetenschappelijk gezien meer verantwoord, ontbreekt vrijwel geheel. Het gaat dus aanvankelijk om „tellen met mol”.

In tweede instantie wordt mol beschouwd als bepaalde massa stof. Aan de hand van deze betekenis worden opgaven aangeboden over mol in een stofcontext en in een reactiecontext. Er is dan sprake van „rekenen met mol”. Daarbij is het getal van Avogadro in feite irrelevant geworden. Bij vrijwel alle „reactie-opgaven” kan immers volstaan worden met de notie dat mol een constant aantal deeltjes betreft. De grootte van dit aantal doet er dan niet langer toe. Er is dus een zwakke band tussen „tellen met mol” en „rekenen met mol”.

Oriëntatie op het rekenen met mol bij reacties gaat alleen in een minderheid van de leerboeken gepaard met meetproeven. In de meeste leerboeken zijn stoichiometrische proeven opgenomen aan het eind van een behandeling van mol of ontbreken deze proeven geheel in het hoofdstuk over chemisch rekenen. Dit empirisch kader komt meestal ruim een jaar later beter uit de verf, voornamelijk bij het leerplanonderwerp „Analyse”. Dat betekent wel dat er ook tussen „rekenen met mol” en „meten



met mol” een zwakke band bestaat, ditmaal als gevolg van een tijdsfactor. Kortom, om uiteenlopende redenen bestaat er dus *weinig samenhang tussen „tellen”, „rekenen” en „meten” met mol*.

Voorgaande karakterisering van de gangbare onderwijsprogrammering, hoe onvolledig ook, biedt aanknopingspunten ter verklaring van geconstateerde knelpunten bij leerlingen. Het feit dat mol aanvankelijk niet in een reactiecontext functioneert, kan er toe bijdragen dat leerlingen moeite hebben met het interpreteren van reactievergelijkingen in termen van mol, evenals met de noodzaak van specificatie van deeltjes waarop mol betrekking heeft. Dit kan weer een voedingsbodem vormen voor een onjuiste redeneerwijze als die van behoud van aantal mol.

Daarnaast kan het ontbreken van een gefundeerde legitimering van gebruik van mol in een reactiecontext bij leerlingen de indruk wekken dat mol niet echt nodig is voor berekeningen, waardoor zij ten onrechte een coëfficiëntenverhouding gelijk stellen aan een (kilo)gramverhouding. Tenslotte kan het achterwege laten van een hechte samenhang tussen „tellen”, „rekenen” en „meten” met mol er mede toe leiden dat leerlingen geneigd zijn ten onrechte een molverhouding gelijk te stellen aan een gramverhouding.

Nieuwe onderwijsopzet

In het gangbare onderwijs staat een rechtstreekse overdracht van begrippen en methoden sterk op de voorgrond. Dat leidt er onder meer toe dat kenmerken van mol niet worden geproblematiseerd en voordelen van dit begrip niet zichtbaar worden gemaakt. Mol dreigt daardoor alleen te functioneren in een „sommen-

cultuur”; het oplossen van opgaven fungeert dan vrijwel uitsluitend als oefen- en toetsmiddel. Dit „uitleggende” karakter van onderwijs kan dus makkelijk leiden tot een gebrek aan inzicht in nut van stoichiometrische begrippen en regels voor het oplossen van (school)chemische problemen.

De vraag is nu welke onderwijsopzet een bijdrage kan leveren aan het ondervangen van knelpunten bij leerlingen 4-havo/4-vwo.³ Het zal niet verbazen dat mijn voorkeur, mede op grond van voorgaande analyses, uitgaat naar een onderwijsprogrammering waarin mol primair wordt ontwikkeld in een reactiecontext. Ik zal dit toelichten aan de hand van twee centrale functies van mol bij stoichiometrie.

Chemisch gezien vervult mol de rol van handige „database” bij kwantitatieve beschrijvingen van stof en deeltjes. Zo herbergt een aanduiding als „2 mol H₂O” voor chemici zowel informatie over stofmassa (eventueel gasvolume) als over deeltjesaantal.

Daarnaast vervult mol de rol van nuttige „referentiehoeveelheid”. Dat kan van pas komen bij het vergelijken van eigenschappen van oplossingen, bijv. het vergelijken van de zuurgraad van een HCl-oplossing (1,83 gram/liter) met die van een HNO₃-oplossing (3,15 gram/liter). De vraag of er verschil in zuurgraad is, zullen chemici in het algemeen pas na enig rekenwerk kunnen beantwoorden, althans zolang zij geen hulpmiddelen inschakelen als bijvoorbeeld een pH-meter. De vraag is door hen wel vrijwel onmiddellijk te beantwoorden indien de betreffende concentraties worden gegeven in mol/liter (resp. $5,01 \times 10^{-2}$ mol/liter en $5,00 \times 10^{-2}$ mol/liter).

In het gangbare onderwijs wordt bij de introductie van mol nadrukkelijk aandacht besteed aan de brugfunctie van dit begrip, maar de vergelijkingsfunctie blijft vrijwel geheel impliciet. Door laatstgenoemde functie wel te expliciteren is de noodzaak van gebruik van mol te verhelderen. Dit veronderstelt wel een ontwikkeling van mol in een reactiecontext.

De grote lijn van een nieuwe onderwijsopzet kan nu als volgt beschreven worden. Bij de ontwikkeling van mol staat het „meten” met dit begrip voorop. Dat houdt in dat aan mol primair de betekenis wordt toegekend van bepaalde massa stof. Deze omschrijving van mol is in een reactiecontext te ontwikkelen door rechtstreeks aan te sluiten bij de behandeling van stoichiometrie aan het eind van 3-havo/vwo. Het gaat daarbij met name om het interpreteren van een reactievergelijking in termen van deeltjes en om het begrip atoommassa-eenheid.⁴ Aan de hand daarvan is het immers mogelijk om uit een reactievergelijking een deeltjesmassaverhouding (in u) af te lei-

den en deze gelijk te stellen aan een stofmassaverhouding (bijv. in gram). In de ontstane verhouding is elke stofmassaportie te benoemen als mol, mits de reactiecoëfficiënten gelijk zijn aan 1. Is dat laatste niet het geval, dan is er sprake van veelvoud van massastofportie (mol).

Aansluitend komt de vergelijkingsfunctie van mol aan de orde door aandacht te schenken aan de noodzaak van gebruik van mol in een reactiecontext. Dan komt de brugfunctie van mol aan bod door de notie te ontwikkelen dat mol ook de betekenis heeft van constant aantal (gespecificeerde) deeltjes. Het getal van Avogadro is daarbij naar de achtergrond geschoven.

In de geschetste opzet krijgen stoichiometrische proeven van meet af aan een zinvolle functie toebedeeld en staan berekeningen met mol ten dele in dienst van deze proeven. *Hierdoor is het mogelijk een samenhang tussen „meten”, „rekenen” en „tellen” met mol te vergroten.*

Zelfinstruerend lespakket

De beschreven onderwijsopzet heb ik gegoten in de vorm van een zelfinstruerend pakket waarover in het voorgaande al is gerapporteerd. Met dit pakket zijn merendeels goede ervaringen opgedaan in acht scholen van verschillende signatuur. Waar nodig zijn wijzigingen aangebracht, mede met het oog op een vervanging van desbetreffende delen uit gangbare leerboeken.⁵ Het lespakket bestaat voornamelijk uit opdrachten met een „probleemstellend” karakter. Deze zijn er op gericht leerlingen zoveel mogelijk zelf redeneerwijzen (en werkwijzen) te laten ontwikkelen. Concreet betekent dit het volgende.

Allereerst wordt aan leerlingen gevraagd om bij een stoichiometrische proef (thermolyse van malachiet) hun eigen weegresultaten te vergelijken met een zelf opgestelde voorspelling (op basis van een aangeboden reactievergelijking en voorkennis van deeltjesmassa's). Tegen deze achtergrond komt het begrip stofmassaportie aan de orde (de term zelf ontbreekt overigens). Dan wordt waarna een primaire omschrijving van mol wordt aangereikt, namelijk die van bepaalde massa stof.

Aansluitend volgt een proef over het mengen van twee zoutoplossingen waarbij een neerslag ontstaat. Van elke zoutoplossing is de reactanthoeveelheid op twee manieren gegeven: enerzijds in gram, anderzijds in mol. Door een berekening voor elke van beide eenheden uit te voeren, passend bij de proef, worden leerlingen in de gelegenheid gebracht zelf vast te stellen welk voordeel zij

kunnen hebben van mol bij chemisch rekenen.

Aan de hand van vervolgoopdrachten kunnen leerlingen zelf de notie ontwikkelen dat mol ook op te vatten is als een constant aantal (gespecificeerde) deeltjes, waarna zij ook de grootte van dat aantal kunnen berekenen (getal van Avogadro).

Bij wijze van toepassing volgt een soortgelijke „probleemstellende” behandeling van het begrip molariteit. Het pakket wordt afgesloten met een aantal „testje-zelf” opgaven.

Tenslotte wil ik terugkeren naar de vraag die in de titel van dit artikel is weergegeven. Na voorgaande rapportage moge het duidelijk zijn dat onderwijs dat op bovenstaande leest geschoeid is, mede er toe kan bijdragen dat leerlingen 4-havo/4-vwo het rekenen met mol niet langer meer als een kruis hoeven te ervaren.

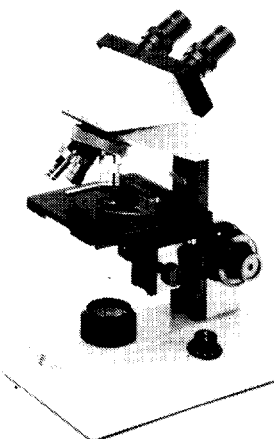
Literatuur en noten

1. O. de Jong, (1990). Rekenen aan reacties, een didactische studie van chemische berekeningen in begin bovenbouw havo/vwo, proefschrift. RUU. Een zeer beperkt aantal exemplaren is nog beschikbaar en te bestellen door f 20,- te storten op postgiro 726990 t.n.v. O. de Jong te Driebergen.
2. Deze werkwijze komt zowel voor in leerboeken van ruim 100 jaar terug, toen mol in de chemie nog niet in gebruik was, als in huidige leerboeken voor mavo. Ook in de leerboeken van Feis (havo, 1982) en Feis & Jansen (vwo, 1982) komt deze oplossing voor, naast die met mol.
3. Bij de beantwoording van deze vraag ga ik er van uit dat leerlingen in het voorgaande jaar gangbaar chemie-onderwijs hebben gevolgd. Uiteraard is een andere beginsituatie mogelijk. Zie bijv. P. Vegting & P. van Zandbergen, (1987), Van blok naar mol, NVON-maandblad, 12, 460-461.
4. Hoewel in het leerplan voor 3-havo de term atoommassa-eenheid ontbreekt, komt dit begrip in vrijwel alle leerboeken voor dat leerjaar aan de orde.
5. In het kader van nascholing is het lespakket „Rekenen Bij Reacties - 5de versie” aan te vragen bij O. de Jong, Vakgroep Chemiedidactiek RUU, Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht.



euromex

MICROSCOPEN
STEREOMICROSCOPEN
MICROTOMEN



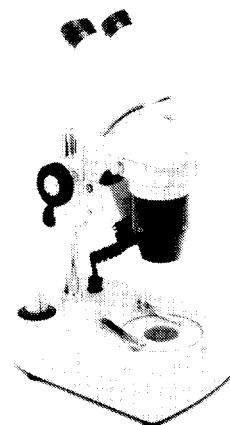
EUROMEX
research microscoop RB

Euromex microscopes Ltd.
Papenkamp 20
P.O. Box 736
6800 AS ARNHEM, HOLLAND
Tel.: 085-234124/232211
Telex: 75042. Fax: 085-232833

Leverancier voor het onderwijs: MALMBERG-FYSICA B.V.
POB 233, 5201 AE Den Bosch. Tel.: 073 - 288729.

HOGE OPTISCHE
KWALITEIT
RELATIEF LAGE PRIJS

OP AANVRAGE ZENDEN
WIJ U ONZE
KLEURENCATALOGUS
1991/1992



EUROMEX
stereomicroscoop ES