

Moleculen tussen leefwereld en wetenschap

W. de Vos
Vakgroep Chemiedidactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

(Dit is de schriftelijke versie van een lezing gehouden op 20 mei 1985 aan de T.H.Twente voor de Vereniging voor Onderwijsresearch.)

Summary

Substance, chemical reaction and chemical element are crucially important concepts in elementary chemical education. At the same time they are widely considered to be notoriously difficult to teach as well as to learn.

In the chemist's mind, these three concepts are strongly associated with corpuscular models, e.g. element to atom. Students in elementary chemical education appear to have their own corpuscular interpretations of physical and chemical phenomena. It was felt that these 'primitive', pre-scientific corpuscular notions might be helpful in learning the concepts mentioned above. Exploring the teaching possibilities in this direction required an investigation into the nature and content of students' corpuscular notions. Motives, method and some results of this investigation are briefly reported in this article.

1. Onderwijsprobleem

Wie leerplannen en schoolboeken voor scheikunde-onderwijs in derde klassen van MAVO, HAVO en VWO bestudeert, vindt daar, naast een aantal voorbeelden en toepassingen, drie begrippen die blijkbaar een centrale plaats innemen in beginnend scheikunde-onderwijs. Dat zijn de begrippen stof, chemische reactie en element.

Het begrip stof is minder eenvoudig dan het lijkt. De leerling moet

stof niet alleen onderscheiden van voorwerp maar ook van mengsel. Het eerste onderscheid vereist het abstraheren van o.a. vorm en hoeveelheid: ijzer is ijzer, ongeacht of het een poeder in een flesje, spijkertjes of de Eiffeltoren betreft. Het tweede onderscheid houdt in dat lucht niet als een stof maar als een (homogeen) mengsel van stoffen moet worden gezien. Voor de chemie is tenslotte van belang dat een stof in verschillende toestanden kan voorkomen: ijs, water en waterdamp vormen, ondanks uiterlijke verschillen, dezelfde stof. Rondom dit stofbegrip worden termen als zuiverheid, mengen en ontmengen (scheiden) gebruikt.

Het stofbegrip functioneert in het begrip chemische reactie (dat tegelijkertijd ook het omgekeerde het geval is wordt uiteengezet door De Jong (1984)). Bij een chemische reactie is sprake van het overgaan van stoffen in andere stoffen, of beter: van hoeveelheden van stoffen in hoeveelheden van andere stoffen. Essentieel is daarbij dat de gevormde stoffen, de zogenoemde reactieproducten, totaal anders kunnen zijn dan de uitgangsstoffen. Ondanks ervaring hiermee in het dagelijks leven (het ontstaan van een onsmakelijke zwarte stof bij het aanbranden van aardappelen etc.) hebben leerlingen vaak grote moeite met het aanvaarden van de chemische reactie in al zijn consequenties. In hun beschrijvingen klinkt vaak een intuïtieve overtuiging door dat de stoffen behouden blijven en slechts hun eigenschappen veranderingen ondergaan.

Wanneer de leerlingen geleidelijk steeds meer voorbeelden van chemische reacties leren kennen, kan er een behoefte ontstaan aan een zekere ordening. Zo'n ordening die niet alleen de overzichtelijkheid dient maar ook tot een bepaalde mate van voorspelbaarheid leidt, wordt geboden door het elementbegrip. Het behouden blijven van de elementen waaruit een stof geacht wordt te zijn opgebouwd, sluit verreweg de meeste reactiemogelijkheden die een creatieve geest zou kunnen bedenken, uit. Suiker kan niet in kwik worden omgezet, maar wel in alcohol omdat daarin dezelfde elementen als in suiker voorkomen.

Hoewel het elementbegrip een eerste en vergaande ordening van chemische verschijnselen mogelijk maakt, blijven er voor leerlingen nog veel moeilijkheden over. Lang niet alle chemische reacties die voldoen aan de eis van elementbehoud, blijken realiseerbaar te zijn en een criterium hiervoor wordt niet aangeboden. Een ander leerprobleem vormt het onderscheid tussen stof en element: suiker bestaat uit de elementen koolstof, waterstof en zuurstof maar is toch zelf een stof en niet een mengsel van de stoffen koolstof, waterstof en zuurstof. Een derde probleem bestaat hierin dat het uiterlijk van een stof niet schijnt samen te hangen met de elementen waaruit die stof bestaat: zwavelzuur bevat wel het element zwavel maar is toch niet geel; keukenzout bevat het element chloor maar stinkt niet.

In het bovenstaande is een onderwijs- en een leerprobleem beschreven: enerzijds zijn de begrippen stof, chemische reactie en element onmisbaar voor inzicht in chemische verschijnselen, anderzijds blijkt in de onderwijspraktijk dat ze talrijke leerlingen grote moeilijkheden opleveren. Het is een toegangspoort met een hoge drempel.

2. Van onderwijsprobleem naar onderzoeksvraag

Vanuit het onderwijs gezien ligt het voor de hand om na te gaan welke leefwereldervaringen van de leerlingen een rol kunnen spelen bij de ontwikkeling van de begrippen stof, chemische reactie en element. De eerste indruk is niet erg bemoedigend. Het stofbegrip dat leerlingen in hun leefwereldtaal hanteren wijkt op belangrijke punten af van het stofbegrip van de chemicus. Leerlingen spreken van stoffen ook als zij homogene of zelfs heterogene mengsels bedoelen (lucht, zeewater, zaagsel) en abstraheren bovendien niet voldoende van toestand, vorm en grootte (poedersuiker en kristalsuiker), en herkomst (riet- en biet-suiker).

Wat het begrip chemische reactie betreft, valt op dat leerlingen daarvan talrijke voorbeelden uit het dagelijks leven kennen, vooral op het gebied van verbrandingen, maar niet de behoefte voelen deze processen te beschouwen vanuit het chemische gezichtspunt 'overgang van stoffen in andere stoffen'. Het gebruik van het woord element in de leefwereldtaal biedt nauwelijks aanknopingspunten voor chemie-onderwijs om een chemisch elementbegrip te ontwikkelen. Intuïtief komen leerlingen wel tot stofbehoud (dat in de chemie niet functioneert) maar niet tot een of andere vorm van elementbehoud. De kansen voor onderwijs vanuit de leefwereld lijken gering. Is er een andere route denkbaar waarin toch leefwereldervaringen als uitgangspunt kunnen dienen?

Historisch gezien valt de snelle groei van de chemie sinds het begin van de vorige eeuw samen met de beschikbaarheid van bruikbare corpusculaire voorstellingen. Een hedendaags chemicus kan zijn vak vrijwel onmogelijk beoefenen zonder zich steeds weer moleculen en atomen voor te stellen. Het elementbegrip wordt daarbij gekoppeld aan het begrip atoomsoort, terwijl het stofbegrip in zeer veel gevallen goed overeenkomt met het begrip molecuulsoort. Vanuit de chemie dringt zich dus de gedachte op om in het onderwijs de begrippen stof, reactie en element in samenhang met atoom(soort) en molecuul(soort) te ontwikkelen.

Bij de uitwerking van deze gedachte in schoolboeken (b.v. Feis & Jansen, 1980) wordt meestal gebruik gemaakt van eenvoudige atoommodellen zoals dat van Dalton, Rutherford of Bohr. Deze modellen worden dan als leerstof gepresenteerd, met meer of minder aandacht voor het modelkarakter, waarna chemische verschijnselen in termen van atomen en moleculen worden beschreven.

De atoommodellen van Dalton, Rutherford en Bohr volgen niet uit leefwereldervaringen waarover de leerlingen beschikken. Ze worden dan ook gewoonlijk door leerlingen aanvaard en geleerd als 'door geleerden ontdekte feiten', zonder deel te gaan uitmaken van hun eigen wereldbeeld. Opvallend is dat veel volwassenen, die niet beroepshalve met chemie te maken hebben, nauwelijks nog iets inhoudelijks van hun scheikunde-onderwijs lijken te weten en niet in staat zijn chemische verschijnselen als zodanig te herkennen en te beschrijven. De vroeger geleerde bijzonderheden over atomen en moleculen functioneren niet in waarneming, interpretatie of taalgebruik. Hetzelfde geldt al voor oudere leerlingen die scheikunde als keuzevak hebben laten vallen. Hun ervaring van de leefwereld is niet of nauwelijks door dit scheikunde-onderwijs beïnvloed.

Samenvattend kunnen we stellen dat de begrippen atoom en molecuul voor de chemicus weliswaar onmisbaar zijn bij de invulling van de begrippen stof, chemische reactie en element, maar dat deze combinatie van begrippen in het onderwijs nog niet heeft geleid tot de ontwikkeling van een chemische component in het eigen wereldbeeld van een grote groep leerlingen.

Een mogelijke oplossing voor dit probleem kan worden gezocht in een andere introductie van de begrippen molecuul en atoom. De gangbare modellen bezitten vrijwel geen relatie met de leefwereld van de leerlingen. Zou er, uitgaande van deze leefwereld, een ontwikkeling van corpusculaire voorstellingen van de materie mogelijk zijn, die enerzijds deel blijft vormen van het eigen wereldbeeld van de leerlingen maar anderzijds toch bijdraagt aan een inzicht in stof, reactie en element? Deze vraag, die op het terrein van de onderwijsontwikkeling ligt, roept onmiddellijk een vakdidactische onderzoeksvraag op: welke corpusculaire voorstellingen hanteren leerlingen als deel van hun eigen wereldbeeld en hoe kunnen deze voorstellingen zich in het onderwijs ontwikkelen?

Hieronder zal slechts aan het eerste deel van deze vraag aandacht worden besteed. Zie verder De Vos (1985).

3. Methode

Aan de beantwoording van bovengestelde onderzoeksvraag is gewerkt in het kader van het project 'Chemie in Duizend vragen' (De Vos, 1984), waaraan een twintigtal scholen voor HAVO en VWO heeft deelgenomen. Het onderzoek is kwalitatief en beschrijvend geweest en heeft in de periode 1977-1984 geleid tot jaarlijkse herzieningen van de bijbehorende leerlingentekst.

De onderwijssituatie werd gekenmerkt door groepswork. Aan groepjes leerlingen werden practicumopdrachten en (veelal open) vragen voorgelegd. De schriftelijke antwoorden die door de groepjes op deze vragen werden gegeven, zijn verzameld. Bovendien zijn van verscheidene

groepsgesprekken geluidsbandopnamen gemaakt en werden allerlei uitspraken van leerlingen in de vorm van vragen, opmerkingen e.d. ter plaatste genoteerd. Het onderzoeksmateriaal kan dus worden beschreven als een verzameling registraties van uitingen van leerlingen in onderwijssituaties.

In het onderwijsproces werd een minimum aan informatie over atomen en moleculen verstrekt. Wel werd regelmatig aan de leerlingen gevraagd hun eigen voorstellingen van deze corpuscula onder woorden te brengen en de resultaten van uitgevoerde practicumproefjes in corpusculaire termen te interpreteren.

Bij de bestudering van leerlingen werd verondersteld dat de corpusculaire voorstellingen van leerlingen een zekere (maar niet noodzakelijkerwijs volledige) consistentie en stabiliteit bezitten en ook dat deze voorstellingen bij verschillende leerlingen naast verschillen ook overeenkomsten vertonen. Deze veronderstellingen waren nodig om een samenhangende en enigszins algemene beschrijving van corpusculaire voorstellingen van leerlingen mogelijk te maken.

Bij de interpretatie van het onderzoeksmateriaal werd gepoogd de eigen, door chemische kennis bepaalde corpusculaire voorstellingen van de onderzoeker, zoveel mogelijk terzijde te schuiven en zo onbevangen mogelijk mee te denken met de verschillende uitingen van leerlingen over een bepaald aspect van hun corpusculaire voorstellingen. Vervolgens werd getracht de bereikte interpretaties ook wanneer deze een grote afwijking van de bekende `chemische` opvattingen vertoonden, zo duidelijk mogelijk te beschrijven. Een dergelijke beschrijving, die uiteraard een zeker speculatief karakter bezit, kon vervolgens aan andere uitingen van (groepjes) leerlingen worden getoetst.

Nadat deze procedure voor een aantal aspecten van de corpusculaire voorstellingen, bijvoorbeeld voor het gedrag van moleculen bij verwarming van de stof of voor de corpusculaire interpretatie van oplossen was uitgevoerd, werd gepoogd om, uitgaande van de verschillende beschrijvingen voorzover die enige toetsing hadden doorstaan, een meer algemene beschrijving van de corpusculaire voorstellingen van leerlingen te geven. Voor deze meer algemene beschrijving werd gebruik gemaakt van de terminologie van Piaget.

4. Resultaten

Voorzover de verzamelde uitingen van leerlingen betrekking hebben op hun corpusculaire voorstellingen, laten ze op ruime schaal verschillen zien niet alleen met de opvattingen van hedendaagse chemici maar ook met de in schoolboeken beschreven eenvoudige, al of niet historische corpusculaire modellen. Een aantal voorbeelden kan dit duidelijk maken.

- a) Terwijl chemici voor de kleur van een stof een verklaring zoeken in de structuur van atomen of moleculen, waarbij overgangen van elektronen tussen energieniveaus een rol spelen, schrijven veel leerlingen de kleur van de stof eenvoudig aan de moleculen zelf toe: zwavel is geel, dus iedere zwavelmolecuul is geel.
- b) Een aantal leerlingen is van mening dat in een vloeistof zoals water of alcohol de moleculen geen vaste lichaampjes kunnen zijn maar alleen kleine vloeistofdruppeltjes.
- c) Enkele leerlingen kwamen na een proef met kaarsvet tot de conclusie dat in zachte stoffen ook de moleculen zacht zijn: 'Een zachte stof kan niet uit harde moleculen bestaan'.
- d) De constatering dat de geur van kamfer al op enige afstand kan worden waargenomen, brengt sommige leerlingen ertoe te menen dat de afzonderlijke kamfermoleculen elk zijn omgeven door een geurgebiedje waardoor ze al kunnen worden geroken wanneer ze de neus passeren (Van Driel & De Vos, 1983). Chemici veronderstellen in hun verklaringspogingen van de geur een of andere vorm van contact tussen kamfermoleculen en moleculen van een receptor in de neus.
- e) In een discussie over de werking van lijm bereikte een groepje overeenstemming over een beschrijving waarbij de lijmoleculen werden geacht aan de buitenkant te zijn voorzien van een 'kleverig laagje'.

Het algemene beeld dat uit deze en talrijke voorbeelden kan worden geconstrueerd heeft als voornaamste kenmerk dat leerlingen allerlei eigenschappen van macroscopische hoeveelheden stof rechtstreeks aan de moleculen van die stof toekennen. De moleculen zijn voor hen bezitters van de eigenschappen, terwijl ze voor de chemicus veroorzakers van die eigenschappen zijn. In overeenstemming met dit algemene beeld menen ook veel leerlingen dat heet water uit moleculen bestaat die ook zelf, inwendig, heet zijn. Wanneer zij dan leren dat deze moleculen zich alleen in hun snelheid onderscheiden van moleculen van koud water, doen zij toch geen afstand van het temperatuurbegrip voor de moleculen: 'De moleculen van heet water zijn van binnen gewoon koud'.

In de terminologie van Piaget kunnen dergelijke uitspraken van leerlingen over moleculen worden beschouwd als uitingen van concreet-operationeel denken. Waar de chemicus zijn uitspraken over moleculen het karakter van hypothesen geeft en zich, als het erop aan komt, daarvan bewust is, verklaart de leerling dikwijls de zekerheden van zijn leefwereld ook geldig voor de moleculaire wereld, zonder daaraan het karakter van een hypothese toe te kennen.

5. Discussie

Vanuit de chemie gezien kunnen de hierboven weergegeven opvattingen eenvoudigweg als 'fout' worden afgedaan. Een watermolecuul is geen vloeistofdruppeltje en een ijzermolecuul kan niet, zoals sommige leerlingen menen, worden bedekt met een roestlaagje. De afwijzing geldt niet alleen de afzonderlijke opvattingen maar ook de centrale gedachte die tot deze opvattingen leidt, n.l. het onbekommerd toekennen van allerlei macroscopische voorwerps- en stofkenmerken uit de leefwereld aan de moleculen.

De natuurwetenschappen ontwikkelen modellen van atomen en moleculen teneinde daarmee verklaringen voor waargenomen verschijnselen te kunnen opstellen. De wetenschappelijke spelregels schrijven voor dat modellen zo eenvoudig mogelijk moeten worden gekozen. Dat houdt in dat aan de atomen en moleculen niet meer kenmerken mogen worden toegeschreven dan ten behoeve van de gevraagde verklaringen strikt noodzakelijk is. De geschiedenis van de corpusculaire modelvorming in de natuurwetenschappen laat een streven zien om deze kenmerken te beperken tot het terrein van de mechanica (Dijksterhuis, 1950). Uit het verrichte onderzoek blijkt dat leerlingen deze 'zuinigheidsregel' bij de ontwikkeling van hun corpusculaire voorstellingen negeren. Bij afwezigheid van expliciet onderwijs op dit terrein blijkt er bij hen geen intuïtieve behoefte aan toepassing van een dergelijke regel te bestaan.

Het onderzoek heeft dus een onderwijsprobleem zichtbaar gemaakt dat zich kan voordoen overal waar in het onderwijs verklaringen met behulp van modellen een rol spelen. Het zijn de leerlingen die, in de terminologie van Piaget, nog concreet-operationeel denken, die het hypothetische karakter van een model negeren en overgaan tot een 'verfeitelijking' van het model. Slechts door het model tot feit te promoveren kunnen zij het als uitgangspunt voor een redenering gebruiken. Maar juist dan verliest het model zijn verklaringkracht: men kan de gele kleur van zwavel niet bevredigend verklaren door te stellen dat ieder zwavelmolecuul geel is.

Maar wat wetenschappelijk gezien onaanvaardbaar is als eindresultaat van een onderwijsproces, kan niettemin wel erkend worden als een verantwoord en misschien zelfs onontkoombaar startpunt voor een onderwijsproces. De ontwikkeling van corpusculaire voorstellingen van leerlingen vindt dan plaats langs de weg van leefwereld naar wetenschap. Voor het chemie-onderwijs waarop het onderzoek betrekking had, is van belang hoe deze ontwikkeling in het onderwijsproces kan worden bevorderd en bestuurd en hoever die ontwikkeling moet gaan om het leren van de begrippen stof, chemische reactie en element effectief te ondersteunen. Essentieel is dat leerlingen hun zich wijzigende voorstellingen blijven beschouwen als behorend tot hun eigen wereldbeeld en ze niet gaan zien als louter een stukje leerstof dat in het kader van een

schoolvak tijdelijk gekend moet worden. De onderwijsontwikkelingsproblematiek die dit met zich meebrengt wordt hier buiten beschouwing gelaten.

Literatuur

Dijksterhuis, E.J. *De mechanisering van het wereldbeeld*, Amsterdam: Meulenhoff, 1983.

Driel, J.v., en Vos, W.de. 'Als het een geur heeft ...', *Tijdschrift voor Didactiek der Natuurwetenschappen*, 1, p.3, 1983.

Feis, R. en Jansen, A.I. *Scheikunde voor de derde klas havo en vwo*, Culemborg: Educaboek B.V., 1980.

Vos, W. de. *Chemie in Duizend Vragen*, Utrecht: Vakgroep Chemie-didactiek, R.U.U., 1984.

Vos, W.de. *Corpusculum Delicti*, diss. R.U.U., 1985.