

## Ervaring tot theorie

M.J. Voegelzang

Leraar scheikunde aan de scholengemeenschap 'De Bouwmeester' te Haaksbergen

### Summary

Education is conceived as a continuing discussion between learners and teacher, in the course of which subject-matter is being constructed. But such a discussion is only possible if the participants are talking on the same level. Therefore theoretical conceptions should not be offered to the learners before they have had enough experiences. In this way theory serves to understand experiences in a logical context. Because of the difference in attitude towards the subject-matter between learner and teacher, the latter should be careful about the introduction of the molecule-atom theory.

Very often learners think of atoms as being a reality in space and time. Thus misconceptions arise, as a result of which learners misunderstand their teacher and textbooks. A gap is observed between the language used by the learner and the one the teacher is using. In that case, productivity can no longer be expected from the learner. To bridge this gap, the teacher should carefully take into account the learner's point of view and experiences.

Putting the introduction of modern scientific knowledge forward must be considered with great care. Otherwise modern conceptions may become empty containers only and not a vehicle for the learner's experiences.

### Inleiding

In een Educa-catalogus (1985) lezen we bij de beschrijving van het nieuwe schoolboek voor scheikunde Chemie Overal:

"Het moleculaire denken in de chemie is essentieel. Daarom dient de realiteit van de microscopische wereld van moleculen en atomen te worden behandeld in nauwe samenhang met de macroscopische wereld van de stoffen en hun eigenschappen. Het onnodige uitstel van het moleculaire denken in sommige leerboeken is terug te voeren op een nog steeds niet overwonnen hang naar empirisme, het idee dat experimentele ervaring alléén zal leiden tot (wetenschappelijk) inzicht".

Even verder staat in deze beschrijving:

"Leerlingen hebben vaak moeite om de kloof te overbruggen tussen de gewone taal en de taal die in de chemie - met formules en chemisch tekenschrift - wordt gebruikt. Dat wordt er niet beter op indien de taal uitsluitend wordt gehanteerd als franje rond symbolen en geïsoleerde experimenten".

Uit het eerste citaat kunnen wij afleiden dat de auteurs van het betreffende schoolboek het belangrijk vinden dat lerenden (1) inzicht verwerven in de chemische vakcontext. De gebruikte formulering suggereert dat inzicht hetzelfde is als wetenschappelijk inzicht. Deze gedachte wordt nog versterkt door het tweede citaat waarin de constatering wordt uitgesproken dat er een kloof bestaat tussen enerzijds de "gewone taal" die lerenden spreken en anderzijds de chemische vaktaal met "formules" en "symbolen".

In het tweede citaat wordt overigens geen verband gelegd tussen de waargenomen taalproblemen en de eerder bepleite, spoedige invoering van het "moleculaire denken". Dat zo'n verband heel wel mogelijk is, wil ik in dit artikel proberen aan te geven. Daarbij zal ik ook mijn gebruik van de termen 'ervaring' en 'theorie' verduidelijken en tevens aan de orde stellen dat er naast de huidige wetenschappelijke zienswijzen andere voor onderwijzen relevante en bruikbare opvattingen mogelijk zijn. Bij gebruik van zulk een alternatieve beschouwingswijze kan m.i. de taal van lerenden meer recht gedaan worden, treden minder grote spanningen op met de gehanteerde vaktaal en wordt geen "onnodig uitstel" teweeg gebracht, maar kan een op ervaring berustend "inzicht" (2) ontstaan.

### 1. Welke visie op onderwijzen

In deze beschouwing over het verband tussen 'ervaring' en 'theorie' zoals ik dat voor onderwijzen van belang acht, wil ik eerst mijn visie op 'onderwijzen' verduidelijken. Vatten we onderwijzen voornamelijk op als culturele vorming dan zal aan lerenden aangereikte theorie vooral dienen als illustratie van bepaalde cultuuruitingen. In dit opzicht zijn geo- en heliocentrisch wereldbeeld 'gelijkwaardig'. Het laatste model kan naar voren worden gebracht als representant van een nieuwe wetenschappelijke benadering van de ons omringende wereld.

Vatten we onderwijzen op als overdracht van (vaststaande) kennis dan zal de voorstellingswijze van Copernicus vooral als superieur aan die van Ptolemeus worden beschreven. Het gevaar is hierbij groot dat er weinig oog meer is voor de redenen die hebben geleid tot het geocentrische wereldbeeld omdat dit 'immers fout is'.

In beide opvattingen over onderwijzen neemt de docent een centrale plaats in en de lerende een ondergeschikte. De docent is namelijk de schatbewaarder van de cultuur respectievelijk de kennis die aan

lerenden wordt medegedeeld. Hiertegenover wil ik een derde visie plaatsen. Lerende en onderwijzende zijn hierbij 'gelijkgerichtigd', zodat zij samen in een voortgaand gesprek over en naar aanleiding van hun ervaringen een vakcontext ontwikkelen (De Miranda, Van Hiele, 1962). Ik wil spreken van ervaring van lerenden wanneer zij waargenomen of beschreven verschijnselen in verband kunnen brengen met reeds bekende zaken. Worden deze relaties door de lerende benoemd, dan spreek ik van directe ervaring (Ten Voorde, 1979). Ik wil niet van ervaring spreken als lerenden niet in staat zijn een relatie te leggen tussen een gebeuren of een beschrijving en hun al verworven kennis.

Wanneer lerenden samen spreken, al dan niet met hun docent, kan naar voren komen dat 'eenzelfde' verschijnsel door verschillende deelnemers anders wordt gezien. Kennis verliest zo het predikaat 'vaststaand' waardoor de docent niet meer de persoon blijft die-het-precies-weet. Hij of zij heeft net als de anderen een visie waarvan de bruikbaarheid moet blijken uit de toetsing aan gemeenschappelijke ervaringen.

## 2. Betekenis van theorie voor lerenden

In de wetenschap dienen theorieën zowel om feiten in een logische samenhang te overzien alsook om gericht nieuwe experimenten op te kunnen zetten. Mijns inziens zal zeker tijdens het beginonderwijs in de natuurwetenschappen de laatste functie van theorie nauwelijks of niet van belang zijn. Reden hiervoor is dat in het beginonderwijs het vak voor de lerende nog niet bestaat, maar dat men juist bezig is een vakcontext op te bouwen. Van Hiele (1957, blz.106) beschrijft in zijn proefschrift hoe pas na verloop van enige tijd lerenden echt met wiskunde bezig zijn. Daarom had hij kritiek op De Miranda (1955, blz.59) die in zijn dissertatie stelde dat 'de leerlingen qua intentie chemicus zijn' als ze gericht worden op het natuurobject zelf. De kritiek van Van Hiele was dat deze natuurobjecten door de lerenden nog moesten worden ontdekt. Verschil tussen chemici en lerenden is ook te vinden bij Koning (1948) en Arnold en Van Berkel (1983). Uit onderzoek van eerstgenoemde bleek dat lerenden aanvankelijk stoffen heel anders indelen als chemici. De laatste auteurs beschreven hoe de volgende omschrijvingen voor chemische reacties: "blijvende verandering" respectievelijk "verandering van stof" slechts voor reeds wetenden zin hebben. De schrijvers geven de weg aan die zij volgen om lerenden tot een begrip chemische reactie te brengen: eerst op grond van proeven verrassende, niet verwachte veranderingen laten opmerken; hierna pas kan de aandacht gericht worden op het verdwijnen en ontstaan van stoffen. Ogborn (1984) geeft aan dat mechanicaonderwijs vaak zo lastig is doordat lerenden er heel andere zienswijzen op na houden dan de wetenschappelijke volgens Newton.

Omdat lerenden in beginonderwijs natuurwetenschappen de vakcontext

aan het opbouwen zijn, zal een aangereikte theorie voor hen niet zozeer dienen als uitgangspunt voor nieuwe experimenten, maar vooral ervaringen bundelen en vanuit het gekozen centrale gezichtspunt logisch begrijpbaar maken. Het is naar mijn mening dan ook onjuist lerenden eerst een theorie aan te reiken en hen daarna pas ervaringen op te laten doen die daar ingepast moeten worden. De authentieke inbreng van lerenden wordt zo beknot, terwijl de door mij nagestreefde gelijkgerechtigdheid van docent en lerende geweld wordt aangedaan. De aangereikte zienswijze zal op gezag van de docent moeten worden aangenomen; er is geen toetsing mogelijk aan gemeenschappelijke ervaringen. Daarom sta ik de omgekeerde weg voor: eerst ervaringen op laten doen en bij voldoende uitgebreidheid ervan een gezichtspunt aanbieden van waaruit die kunnen worden overzien.

### 3. Relevante chemische theorie bij onderwijzen

In het eerste citaat genoemd in de inleiding lezen we: "Het moleculaire denken in de chemie is essentieel". Door het gebruik van "de chemie" komt naar voren dat er geen onderscheid wordt gemaakt tussen de wetenschappelijke chemie en de chemische vakcontext die bij chemie-lerenden aan het ontstaan is. Maar de onderwerpen waar een chemicus zich mee bezig houdt en de wijze van benaderen ervan verschillen totaal van die van een lerende in het beginonderwijs-scheikunde. Wij kunnen daarom gaan spreken over verschillende 'chemieën', een idee dat ook door Johnstone (1982) is opgevat. Vanuit deze gedachtengang hoeft niet perse het voor de chemicus essentiële ook voor de chemie-lerende van wezenlijk belang te zijn.

Voor een chemicus is het gerechtvaardigd te spreken over "de realiteit van de microscopische wereld van moleculen en stomen" en "de samenhang (ervan) met de macroscopische wereld van stoffen en hun eigenschappen".

De lerende moet zich juist nog een beeld vormen van wat binnen een chemische context bedoeld wordt met "stoffen en hun eigenschappen", zodat hij nog niet toe is aan het zien van een samenhang met de "microscopische wereld van moleculen en atomen". Hebben we onvoldoende oog voor het verschil in zienswijze van een lerende en een professioneel chemicus dan leidt snelle invoering van moleculen en atomen al gauw tot naïef realisme: lerenden zien atomen en moleculen niet als een zeer nuttig, natuurwetenschappelijk concept om fysische en chemische problemen mee op te lossen maar als een feitelijke realiteit (Ten Voorde, 1977, blz.80). Dit herkennen we o.a. in het klakkeloos aanvaarden van een uitspraak als: "Hierop kunnen we de afzonderlijke moleculen - 1.000.000 maal vergroot - onderscheiden". (Schweers en Van Vianen, 1971, blz.53) bij de afdruk van een beeld verkregen met een veldelectronenmicroscop.

De Miranda (1963) beschreef een kloof die lerenden kunnen ervaren

tussen de aanschouwelijke realiteit van bijvoorbeeld een neerslag in een reageerbuis en de 'superrealiteit' van de wereld van atomen en ionen. Door bij chemie-onderwijzen spoedig te gaan praten over moleculen en atomen wordt deze kloof niet voorkomen, maar ontstaat zij juist. Daarom is er al geruime tijd een stroming (Chemie (1983), Verhagen en Slits (1981), Visser en De Bruin (1981) en Ten Voorde (1977)) waarbij men lerenden in het middelbaar scheikunde-onderwijs eerst geruime tijd ervaring op laat doen met stoffen en reacties alvorens tot een verklaring hiervan met een molecuul-atoommodel over te gaan. Volgens Ten Voorde is dit molecuul-atoommodel echter niet de eerste theorie waarmee deze lerenden in het kader van scheikunde-onderwijs kennis maken. Daaraan vooraf gaat namelijk een theorie ten aanzien van chemisch element. Hierbij wordt 'element' niet corpusculair, als atoom, opgevat maar als een principe dat de kwaliteit 'behoud' uitdrukt bij chemische reacties waar stoffen verdwijnen en ontstaan (Ten Voorde, 1984). Als we bovendien kiezen voor een 'opbouwprincipe' kunnen we stoffen samengesteld denken uit elementen, soms uit één, meestal uit meer dan één. Dit levert een consistente structuur van stoffen en hun chemische reactiemogelijkheden: in een taalveld (3) waarin we kunnen spreken over 'behoud', kunnen we tevens voorspellingen doen ten aanzien van mogelijke ontstastoffen bij chemische reacties.

De stoffen die we maar uit één element samengesteld denken moeten de combinatie van eigenschappen hebben: niet-ontleedbaar én niet-samenstelbaar. Aangezien nooit met zekerheid valt aan te tonen dat een stof een aantal kenmerken niet bezit, verlaten we met deze voorstellingswijze het veld van waarneembare verschijnselen en gaan we over naar een theoretisch gezichtspunt van waaruit we stoffen en reacties beschouwen. Voor een wetenschappelijk geschoold chemicus is deze opvatting zo vanzelfsprekend en vertrouwd dat zij voor hem vaak niet als theorie maar als 'ervaring' overkomt. Hier komen we een nieuw aspect bij ervaring tegen: door langdurige omgang met een theoretisch begrip schuift het feitelijk niet-ervaarbaar zijn ervan naar de achtergrond en gaat men een dergelijk begrip toch als ervaring zien. Mede hierdoor is het voor de docent die immers ook chemicus of fysicus o.d. is, vaak zo moeilijk in te zien dat een theorie problemen oplevert voor lerenden en welke het zijn.

Een paar problemen rond de invoering van een niet-corpusculaire opvatting van het chemisch element zal ik nu bespreken. In het boek Chemie(1983) wordt in hoofdstuk 4 een koperkringloop behandeld. Hierna komt de kwaliteit 'element' aan de orde ter verklaring van het weer ontstaan van koper na eerst verdwenen te zijn. Omdat het een kringloop betreft kan aan iedere stof eruit de kwaliteit element toegekend worden. In de volgende paragraaf van het boek staat: "In paragraaf 4.1 hebben we dat wat behouden blijft bij reacties element genoemd. Uit

onderzoekingen is gebleken dat er ongeveer 100 elementen bestaan". De aard van de onderzoekingen wordt niet onthuld, evenmin de keuze voor het opbouwprincipe in boven omschreven zin. Met de aangereikte elementsymbolen worden in de volgende paragraaf reactieschema's opgesteld. Hier komt pas op het einde het opbouwprincipe verschoelen in de volgende vraag aan de orde:

"4a. Hoeveel elementen bevat een niet-ontleedbare stof?

b. Hoeveel elementen bevat een ontleedbare stof?"

Er wordt in dit boek dus sterk de nadruk gelegd op het behoudsaspect van element en heel weinig gezegd over het opbouwprincipe. Dit maakt het voor mij begrijpelijk dat bij de volgende proefwerkvraag problemen ontstonden:

"Calcium reageert met zuurstof tot ongebluste kalk. Ongebluste kalk reageert met water tot gebluste kalk.

- Uit welke elementen bestaat nu ongebluste kalk?

- En gebluste kalk?"

Verskillende lerenden gaven als antwoord op de samengesteldheid van gebluste kalk: "uit water en ongebluste kalk".

Daar tijdens de voorafgaande lessen de ontleding van water in waterstof en zuurstof ter sprake was gekomen, herken ik in het gegeven antwoord wel de opvatting van element als behoudskwaliteit maar niet die waarbij element wordt gezien als uitgangspunt bij de opbouw van stoffen in de eerder omschreven betekenis.

Ook Pfundt (1982) doet verslag van problemen die lerenden met een dergelijke opvatting van het chemisch element hebben. Zij citeert een lerende die zegt: "Der Formel nach müsste sich natürlich aus Kohlendioxid wieder Kohlenstoff herstellen lassen. Aber in Wirklichkeit ist es natürlich unmöglich, aus einem farblosen Gas einen festen, scharzen Stoff herauszuholen".

In deze uitspraak komt mijns inziens duidelijk naar voren dat de aangereikte zienswijze niet bij die van de lerende aansluit en dat slechts sprake is van een formalistisch gebruik van de chemische vaktaal zonder dat inzicht is bereikt. Voor deze lerende lijkt 'chemische reactie' nog geen directe ervaring geworden en bijgevolg is het voorbarig een theorie aan te reiken die beoogt ordening aan te brengen in een veelheid van chemische reacties.

Wij hebben hier gezien dat naast de gebruikelijk wetenschappelijke zienswijze (de atoomtheorie) een beschouwingswijze op "chemisch element" bestaat die voor onderwijzen relevant en bruikbaar geacht wordt. Het aanbieden van deze alternatieve element-opvatting hoeft geen "onnodig uitstel" te betekenen omdat het de lerende "inzicht" kan verschaffen in een ervaren veelheid van stoffen en reacties. Het is ook niet zozeer de vraag of lerenden theorie moeten krijgen, maar veeler: welke theorie?; en wanneer?

#### 4. Verandering van gezichtspunt

Zoals in 2 betoogd, is de functie van een theorie voor lerenden op de eerste plaats hun ervaringen in een logische samenhang te begrijpen. De vraag of een bepaald begrip in de huidige wetenschap nog gangbaar is, is hierbij van ondergeschikt belang, een uitgangspunt dat ook bij Treffers (1984) te vinden is. Wij kunnen lerenden eerst een zienswijze aanreiken die hun, nog beperkte ervaringen bundelt, ook al is het thans geen gebruikelijk wetenschappelijk gezichtspunt meer. Later, als de ervaring van de lerenden is uitgebreid, kan behoefte ontstaan aan een nieuwe visie die misschien wel een rol speelt in de huidige wetenschap. In de klas heb ik dit innemen van een nieuw gezichtspunt eens meegemaakt rond het voorspellen van het al dan niet verlopen van een redoxreactie. De lerenden hadden op grond van reageerbuisproeven al een reeks van redoxkoppels opgesteld aan de hand waarvan zij uitspraken konden doen ten aanzien van het wel of niet kunnen reageren van een reductor met een oxidator. In hoeverre het reageren afhankelijk was van de concentraties van de reactanten was nog niet ter sprake gekomen. In de betreffende les was het gespreksonderwerp een cel van koper/kopernitratoplossing in contact met zilver/zilvernitratoplossing. Deze cel verkeerde in evenwicht; dat wil zeggen: de bronspanning was als gevolg van stroomlevering, gepaard gaande met de celreactie  $\text{Cu} + 2 \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{Ag}$ , nul geworden. Een leerlinge vond het onbegrijpelijk dat geen reactie meer optrad, want Ag als sterkere oxidator dan  $\text{Cu}^{2+}$  zou het nog aanwezige koper moeten oxideren. Ik bracht toen naar voren dat haar uitspraak over de oxidatorsterktes tot nu toe correct, want bruikbaar, was geweest. Maar dat je op grond van dit experiment misschien beter kon zeggen dat de oxidatie van koper door  $\text{Ag}^+$  zo lang doorgaat tot de concentraties van  $\text{Ag}^+$  en  $\text{Cu}^{2+}$  voldoen aan de verhouding die staat in de evenwichtsvoorwaarde, en dat dan de oxidatorsterktes aan elkaar gelijk zijn geworden. Met deze nieuwe meer omvattende zienswijze stemde zij in.

Door terughoudend omvattende gezichtspunten aan te reiken kunnen lerenden ervaren hoe op principiële verschillende manieren voortgang kan worden geboekt: òf door meer gelijksoortige ervaring op te doen òf door ervaringen vanuit een nieuw perspectief te gaan bezien; of door vanuit een nieuw gezichtspunt gericht nieuwe ervaring op te doen.

#### 5. Samenhang van begrippen

Bij vaststelling van een onderwijsplan zullen wij een keus moeten maken uit een grote verscheidenheid van begrippen. Deze selectie zal mede tot stand behoren te komen door de verschillende begrippen in onderling verband op hun relevantie voor onderwijzen na te gaan. Dergelijke analyses, die ik didactische (4) zou willen noemen, zijn nog te weinig verricht, waarop ook De Vos en Verdonk (1984) hebben

gewezen. Bij deze didactische analyses zullen criteria gehanteerd moeten worden om een uitspraak te kunnen doen over de wenselijkheid bepaalde begrippen in het onderwijsaanbod op te nemen. Een eis waaraan de te onderwijzen begrippen mijns inziens moeten voldoen is dat de lerenden zover zijn dat ze deze zelf met elkaar in verband kunnen brengen. (Uiteraard kan het zijn dat er een aantal min of meer van elkaar onafhankelijke clusters van begrippen zijn waarop deze eis wordt toegepast, b.v. de clusters geometrische optica en mechanica.) Met dit criterium zal ik de begrippen bekijken die gebruikelijk ter sprake komen in het eerste leerjaar scheikunde op de middelbare school. Daarbij kunnen we denken aan de volgende opsomming: chemische reactie; ontleedbare en niet-ontleedbare stoffen; element; wet van massabehoud bij chemische reacties; wet van constante massaverhoudingen bij chemische reacties; molecuulmodel; atoommodel van Dalton; molecuulformules; reactievergelijkingen opstellen met behulp van molecuulformules.

Een molecuulformule is niet alleen te zien als de weergave van het aantal atomen per molecuul, maar ook als een afbeelding van een aantal kwantitatieve relaties. Uit de formules  $H_2$  en  $HCl$  is af te leiden dat bij reactie tussen waterstof en koperchloride waterstofchloride ontstaat met als volumeverhouding tussen waterstof en waterstofchloride 1 : 2. Samen met de atoommassa's is uit de formule  $H_2O$  te berekenen dat waterstof en zuurstof met elkaar reageren in de massaverhouding 1.00 : 7.94; en uit de formule  $HCl$  volgt dat de massaverhouding tussen waterstof en chloor 1.00 : 35.2 bedraagt.

Een lerende in het eerste leerjaar scheikunde kan geen directe ervaring opdoen ten aanzien van het aantal atomen in een molecuul, wel ten aanzien van dergelijke kwantitatieve verbanden. Wil in begin-onderwijs-scheikunde een molecuulformule voor lerenden in samenhang met reeds geleerde begrippen komen te staan, dan moet deze formule dergelijke omschreven kwantitatieve verbanden weergeven. Als deze verbanden niet zijn ontwikkeld en evenmin anderszins de noodzaak van deze formules is aangetoond, kunnen we zeggen dat het begrip molecuulformule niet in samenhang met het reeds geleerde is aangeboden.

Bij onderwijzen biedt men vaak slechts de abstracte gevolgtrekkingen uit onderzoeken aan en niet de weg waarlangs men hiertoe is gekomen. Hierdoor wordt het voor lerenden bijzonder moeilijk te zien hoe verschillende (theoretische) begrippen met elkaar in verband staan. Zo worden b.v. molecuulformules aangeboden zonder dat verduidelijkt kan worden hoe men er in is geslaagd te bepalen hoeveel van die onzichtbare atomen in een al even onzichtbaar molecuul geplaatst zijn. Zo'n formule is een voor de lerende apart feit geworden, vaststaand in zijn betekenis, maar los staand van de andere te leren feiten. Hij biedt de lerende geen inzicht in zelf



geconstateerde regelmaat en is geen weergave van gekozen gezichtspunten.

Onderwijzend vanuit het besef van de noodzakelijke samenhang tussen en volgorde in de aan te reiken begrippen streeft men ernaar lerenden eerst de nodige ervaringen op te laten doen die vervolgens met een passend theoretisch gezichtspunt kunnen worden overzien en begrepen. Passend in die zin dat het aansluit bij het bekende, maar niet zo ruim en veelomvattend is dat het eerder leeg kan worden genoemd.

#### 6. Vervroeging als didactisch probleem

Het is niet verbazingwekkend dat we in de beschrijving van het examenplan-scheikunde voor VWO en HAVO termen tegenkomen die wetenschappelijk opgeleide chemici vertrouwd in de oren klinken. Kijken we bovendien naar de ontwikkeling in de examenplannen dan zien we een tendens tot uitbreiding van het aantal theoretische begrippen zoals die in de huidige wetenschappelijke chemie worden gebruikt.

Ten Voorde (1977, blz.114) heeft op het gevaar gewezen dat deze vervroeging onvoldoende didactisch is onderbouwd. Dat dit een reëel gevaar is blijkt uit de reactie die door de NVON-kring Arnhem/Nijmegen werd gegeven op het voorstel voor het nieuwe examenplan-scheikunde van de commissie Groen. Er werd o.a. bezwaar gemaakt tegen de wijze waarop de commissie in haar advies spreekt over atoombinding en electronenspin. Ook was sterke kritiek op de wijze waarop in de gepresenteerde teksten energie en entropie in relatie met chemische reacties werden gebracht. Ondanks de bezwaren uit "het veld" is entropie nieuwe examenstof geworden.

De vervroeging moet niet alleen argwanend worden gezien vanuit de problemen die ontstaan als nieuwe onderwerpen aan lerenden worden aangereikt. Ook vanwege de exponentiële toename van de wetenschappelijke kennis dient de vervroeging met de nodige omzichtigheid te worden benaderd: in verband met de beperkte tijd is het onmogelijk geworden in het middelbaar onderwijs de wetenschap op enige afstand te volgen (Kornhauser, 1979). Een uitweg wordt gezocht door snel een aantal begrippen aan te bieden die als kapstok voor verdere kennis moeten dienen. Hierdoor wordt de vrije gezichtspuntskeuze van de lerende (vrijwel) onmogelijk gemaakt; zijn of haar eigen ervaring speelt geen of slechts een ondergeschikte rol; discussie over een aangereikt begrip is niet of nauwelijks meer mogelijk.

Een ander antwoord op de vervroeging wordt gevonden door lerenden dat te laten ervaren wat kan leiden tot de gewenste begrippen in een zo kort mogelijke tijd. Deze begrippen zijn echter vaak zo complex dat ze niet op eigen ervaring van de lerende kunnen berusten als ze snel worden aangereikt. Als voorbeeld valt te denken aan structuurformules voor stoffen. De bepaling ervan kan geschieden op grond van mogelijke

chemische reacties en/of de kwantitatieve aspecten daarbij dan wel langs instrumenteel analytische weg. Beide manieren vereisen zoveel kennis dat een structuurformule, indien aangeboden in het eerste leerjaar scheikunde, geen weergave wordt van zelf ervaren overeenkomsten en verschillen tussen stoffen. In de klas is dit te merken als structuurformules in het eerste leerjaar scheikunde aan de orde komen zoals in het boek Chemie (1983, blz.110). Direct nadat kennis is genomen van de molecuulformules komen structuurformules ter sprake. Niet te verduidelijken is waarom b.v. in  $H_2O$  de beide H-atomen aan het O-atoom gebonden zijn en niet aan elkaar. Gaan de lerenden met een atoommodellendoos molecuulmodellen maken dan kun je in dat stadium niet uitleggen waarom het ene zwarte bolletje ('C-atoom') wel geschikt is en het andere niet. Dit kan niet omdat nog geen kennis is genomen van enkele, twee- en drievoudige C-C bindingen.

Bij het vaststellen van onderwijsplannen komt men te staan voor het vraagstuk hoe te reageren op de uitbreidende wetenschappelijke kennis. Didactisch onderzoek kan hier een antwoord op geven door die begrippen uit de huidige vakwetenschappen te halen die in het onderwijs kunnen functioneren om mogelijke ervaringen van lerenden te bundelen en te overzien.

### 7. Belemmering van productiviteit

Een gevolg van de in 6 besproken vervroeging is dat lerenden zich geplaatst zien voor begrippen waarvoor zij de benodigde ervaring missen. In zo'n geval gaat men er vaak toe over de betreffende begrippen uit hun context te lichten en te vereenvoudigen in de hoop ze zo begrijpbaar te maken. In de teksten voor de lerenden blijft te vaak de vraag achterwege in hoeverre dergelijke vereenvoudigingen gerechtvaardigd zijn. Door zo te handelen ontstaat bij lerenden snel het idee dat zaken 'zo zijn' met het gevaar van naïef realisme en latere verstarring (Roest, 1965, blz.13). Men wordt zich niet bewust dat een bepaald gezichtspunt is ingenomen en alles van daaruit 'zo gezien wordt' (Kuhn, 1970, blz.111).

In het eerste citaat wordt gepleit voor een vroegtijdige invoering van het moleculaire denken in het scheikunde-onderwijs. Een gevolg van een snelle invoering is dat geen omschrijving van het begrip deeltje gegeven kan worden die voor de lerende bevredigend is bij nadere kritische beschouwing. Wordt een watermolecuul omschreven als het kleinste deeltje van de stof water dan ligt de weg open voor uitspraken als 'een nat watermolecuul' of m.m. 'een paars kaliumpermanganaatmolecuul'. Terwijl lerenden in het beginonderwijs scheikunde water kennen als een homogene, continue vloeistof moeten zij het nu gaan opvatten als een (discontinue) verzameling deeltjes. Dat een kloof kan gaan ontstaan tussen de levende taal van de lerende en de aangereikte vaktaal wekt geen verbazing. Dat het inderdaad

gebeurt, is te lezen in het tweede citaat aan het begin van dit artikel. Born (1964) heeft beschreven hoe dit ook bij hem is opgetreden: 'Später hat es mich interessiert zu analysieren, wo das Hindernis lag, das mich von der Chemie fernhielt. Es hat etwas mit der weiten Kluft zwischen wahrgenommene Wirklichkeit und Symbol zu tun. Das Wasser, das ich trinke oder in dem ich bade, und das Symbol  $H_2O$  schienen mir keine direkte Beziehung zu haben; sie sind durch einen langen Weg der Analyse verbunden, der ohne Erfahrungen über viele andere Substanzen und Symbole ungangbar ist'.

Born geeft hier treffend weer dat onderwijzende en lerende dezelfde woorden kunnen gebruiken, maar dat ieder er wel een andere betekenis aan hecht. In zo'n geval zal de lerende niet of nauwelijks tot productiviteit in staat zijn.

Dat dit ontbreken van productiviteit door een groot aantal docenten wordt onderkend, kunnen we bijvoorbeeld zien aan de ontwikkeling rond de invoering van het (sterk vereenvoudigde) schillenmodel van Bohr in het scheikunde-onderwijs. In de jaren zestig was het gebruikelijke leerstof in het eerste leerjaar scheikunde. Thans bestaat er een tendens het meer naar achteren in de onderwijstijd te schuiven. In het boek 'Chemie 4 en 5 havo', dat stoelt op de lesteksten van de CMLS, komt het zelfs helemaal niet meer ter sprake. Een mijns inziens terecht ontwikkeling omdat enerzijds veel zaken met een eenvoudiger atoommodel zijn te beschrijven en anderzijds de oktettheorie een aantal belangrijke vragen open laat (b.v.: hoe moet een gemeenschappelijk elektronenpaar tussen twee atomen in gedacht worden; hoe kan naast zwaveltrioxide ook zwaveldioxide bestaan; hoe moet de oktettheorie toegepast worden op de elementen uit de nevenreeksen).

Een andere reden waarom het beter is pas later in de onderwijstijd een atoommodel aan te reiken is dat lerenden in het begin te veel concreet-ruimtelijk denken. Dat is hier onjuist zoals Heitler (1973) als volgt heeft geformuleerd: "Es ist ein Vergehen an jungen Menschen, ihnen etwas beibringen zu wollen, was sie unmöglich verstehen können, oder, um es verständlich zu machen, es falsch darzustellen (...). Ich glaube nicht, dass es gut ist, in der Mittelschule viel von Atomphysik und Elektronen zu reden. Jede anschaulich räumliche Vorstellung dieser Gebilde ist ganz einfach falsch".

Heisenberg (1947, blz.97) verwoordde het aldus: "Dat Atom ist seinem Wesen nach nicht ein materielles Gebilde in Raum und Zeit, sondern gewissermassen nur ein Symbol, bei dessen Einführung die Naturgesetze eine besonders einfache Form annehmen".

Een concreet-ruimtelijke voorstelling van moleculen en atomen spreekt lerenden aan in hun aanvankelijk vanzelfsprekend denken in termen van behoud van voorwerpen. Om dergelijk ongewenst behoudsdenken te voorkomen moeten zij een chemische reactie eerst leren zien als verdwijnen en ontstaan van stoffen. Deze vervolgens leren

interpreteren in termen van behoud van elementen zoals beschreven in 3. Nu is het invoeren van moleculen en atomen voorbereid: het verdwijnen en ontstaan van stoffen wordt afgebeeld in het ontstaan van nieuwe moleculen; dit gebeurt door een hergroepering van atomen, waarmee het elementbehoud is weergegeven.

Wagenschein en Buck (1981, 1984) hebben ook gewezen op het gevaar dat lerenden atomen als concrete dingen zien. Daarnaast beklemtonen zij een ander punt waarop vroegtijdige invoering van moleculen en atomen faalt. Lerenden zijn in dat stadium sterk aanschouwingsgebonden. Daarom is voor hen bij een chemische reactie de verandering in kwalitatieve eigenschappen als kleur en geur erg belangrijk. Deze kan de molecuul-atoomtheorie niet afdoende verklaren. Wel, zoals Hooykaas (1976, blz.233) reeds zei, de kwantitatieve aspecten. Het molecuul-atoommodel doet zo aan een procrustusbed denken: eerst zijn de genoemde kwalitatieve aspecten bij chemische reacties weggesneden, vervolgens moet aan elke stof een vaststaande formule worden toegekend, zonder dat men kan verantwoorden hoe tot die formule is gekomen.

Bij een zo vroege invoering van een molecuul-atoommodel missen lerenden de ervaring om de aangereikte omschrijvingen van de begrippen molecuul en atoom op hun juiste waarde te schatten. In een dergelijke situatie vormen zich bij de lerende al snel misvattingen, over het ontstaan waarvan Johnstone (1977) heeft geschreven: "... the presence of a misconception is the result of a tacit assumption made by the pupil with respect to what he, the pupil, thinks the teacher implies rather than what the teacher actually means, a tacit assumption about which the teacher is quite unaware".

Als gevolg van deze misvattingen kan productiviteit van de lerende niet of nauwelijks worden verwacht in nieuwe situaties. Zo wordt door niet aan te sluiten bij de ervaringen van lerenden geen "inzicht" bereikt maar "onnodig uitstel" van hun productieve deelname aan het onderwijs-leerproces.

### 8. Vrijheid van gezichtspuntkeuze als uitgangspunt

Ik had lerenden eens de vraag voorgelegd een naam te geven aan de vloeistof die verkregen was door aardolie zover af te koelen dat er bolletjes paraffine in waren gekomen. In een groepje lerenden ontstond hier bijna hooglopende ruzie over zodat ze mij erbij riepen. Het probleem was dat een meisje de vloeistof een verzadigde oplossing noemde en een ander meisje een suspensie. Ze kwamen niet uit hun geschil omdat ze niet naar elkaar luisterden. Er ontstond een gesprek tussen mij (Vog.) en deze twee meisjes (Els en Ria) dat ongeveer zo verliep (ik heb dit gesprek niet tijdens de les op geluidsband opgenomen maar later zo goed mogelijk gereconstrueerd):

Ria: Meneer, zij zegt dat het een verzadigde oplossing is en ik een suspensie.

Vog.: Nou Ria, leg eens uit waarom je het een suspensie noemt.

Ria: Je ziet bolletjes vaste stof in een vloeistof.

Vog.: Els, wat vind jij van Ria's mening?

Els: Ze heeft wel gelijk.

Vog.: Nou Els, vertel jij nu waarom jij het een verzadigde oplossing noemt.

Els: Het was eerst homogeen, want het was gefiltreerd. Toen het afgekoeld was kwamen die bolletjes, dus waren die eerst opgelost.

Vog.: Ria, vind jij dat Els gelijk heeft?

Ria: Eigenlijk wel.

(even stilte)

Ria: Maar meneer, dat kan toch niet dat het twee dingen tegelijk is.

Vog.: Jij bent toch een vrouw en tegelijk een mens?

Ria: Een vrouw is toch een mens.

Vog.: Jij bent een vrouw maar ook leerling van 3A.

Ria: Ja, dat is zo.

(even stilte)

Ria: Gek he, dat we daarvoor elkaar zo in de haren hebben gezeten.

In leefwereldtaal 'zijn' dingen 'zus of zo'. Dat je iets op meer dan een manier kunt bekijken en daarom verschillend kunt benoemen speelt daar bijna geen rol. Hierdoor is het moeilijk voor deze meisjes die de chemische vakcontext nog aan het opbouwen zijn om naar elkaar te luisteren en te verstaan. Daarvoor was ik als leraar nodig, via mij konden ze elkaars gezichtspunt verduidelijken. Het feit dat 'eenzelfde' verschijnsel verschillend kan worden gezien, is voor hen directe ervaring geworden. Het gezichtspunt van waaruit zij de betreffende vloeistof bekeken, hadden zij zelf in mogen nemen. Maar de ervaring dat er meerdere invalshoeken mogelijk zijn, deden zij pas op toen ze naar elkaar gingen luisteren: oftewel ze hadden elkaar nodig om verder te komen.

Als onderwijzende moeten wij open staan voor de standpunten die leerlingen innemen. Dan zijn wij in staat ze nieuwe gezichtspunten aan te reiken die niet te ver van hun uitgangspunt en ervaringen af liggen. Hebben wij te weinig oor voor ze, dan bieden wij ze snel iets aan dat te ver van ze afstaat en waarmee ze zelf niet verder kunnen. Niet alleen worden zij hierdoor onmondig gemaakt, maar ook wordt zo onderwijstijd niet optimaal genut.

De titel van dit artikel luidt: 'Ervaring tot theorie'. Hierin heb ik tot uitdrukking willen brengen dat lerenden allereerst in onderwijssituaties ruime ervaringen moeten opdoen. Dit kan vervolgens leiden tot een moment van bezinning op de structuur van hun ervaringen. Hierbij hebben zij de hulp van de docent nodig. Uit zichzelf

zullen zij niet tot de inname van een theoretisch gezichtspunt komen. Maar als ze voldoende ervaring hebben opgedaan, kunnen ze aangereikte theorie gaan zien als een instrument waarmee overzicht en logische samenhang verkregen wordt. Het primaat van de theorie is doorbroken. Verankerd in ervaringen kan het nu een uitgangspunt worden om nieuwe ervaringsgebieden gericht te gaan verkennen. En als de nieuw opgedane ervaringen daartoe aanleiding geven, zal het plaats maken voor een nieuw, wijder perspectief. Leren kan zo een ontdekkingsreis worden, waarvan het eindpunt onbekend is en niet vast hoeft te staan.

### Noten

1. Ik geef om de volgende redenen de voorkeur aan het woord lerende boven leerling:
  - lerende geeft meer dan leerling aan dat er sprake is van een proces in de tijd
  - leerling associëren we sterk met de leeftijds categorie van de jonge mens op de middelbare school: een deelnemer aan het volwassenenonderwijs noemen we minder snel een leerling.
2. De term inzicht wil ik verstaan zoals hij is omschreven door Van Hiele (1973, blz.77):  
"Men kan inzicht constateren, als er gehandeld wordt op grond van een tot stand gekomen structuur waaruit men antwoorden op nieuwe vragen afleest".
3. Onder een taalveld verstaan we een cluster van bij elkaar horende termen, b.v. het taalveld gevormd door: element, verdringingsreactie, kringloop. (Ten Voorde, 1978a).
4. Met didactiek bedoel ik de systematische bezinning op het onderwijzen. Vaak wordt het onderwijzen ook met didactiek aangeduid, een benoeming die ik evenmin als Verdonk (1979, blz.13) voor deze activiteit zou willen gebruiken.

### Literatuur

- Arnold, F.J.G.M., Berkel, A.A.J.van. Spektakels en gezichtspunten bij TUE, *Faraday*, 50, p.69, 1983.
- Born, M. Symbol und Wirklichkeit. *Physikalische Blätter*, 20, p.554, 1964.
- Bruin, M.A.de. Scheikunde is mensenwerk, *Weekblad NGL*, 35, p.1570, 1981.
- Chemie 4-Havo*, Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Chemie 5-Havo*, Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Chemie 3-vwo/havo*, (2e druk), Groningen: Wolters-Noordhoff, 1983.
- Educaboek. *Biologie/Scheikunde/Natuurkunde mavo/havo/vwo*, Culemborg: 1984.

- Heisenberg, W. *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaften*, Stuttgart: Hirzel, 1947.
- Heitler, W. Von Wesen der Quantenchemie, *Physikalische Blätter*, 29, p.252, 1973.
- Hiele, P.M. van. *De problematiek van het inzicht*, Purmerend: Muusses, 1957 (dissertatie).
- Hiele, P.M. van. *Begrip en Inzicht*, Purmerend: Muusses, 1973.
- Hooykaas, R. *Geschiedenis der Natuurwetenschap*, Utrecht: Bohn, Scheltema & Holkema, 1976.
- Johnstone, Dr.A.H. MacDonald, J.J., Webb, Dr.G. Chemical equilibrium and its conceptual difficulties, *Education in Chemistry*, 14, p.169, 1977.
- Johnstone, A.H. Macro- and microchemistry, *The School Science Review*, 64, p.377, 1982.
- Koning, J. *Enige problemen uit de didactiek der natuurwetenschappen in het bijzonder van de scheikunde*, Dordrecht: Retèl en Felkers, 1948 (dissertatie).
- Kornhauser, A. Trends in Research in Chemical Education, *European Journ. Science Education*, 1, p.21, 1979.
- Kuhn, T.S. *The Structure of Scientific Revolutions*, 2e druk, Chicago: University of Chicago Press, 1970.
- Miranda, J.de. *Verkenning van de 'Terra Incognita' tussen praktijk en theorie in Middelbaar (Scheikunde-)Onderwijs*, Groningen: Wolters-Noordhoff, 1955 (dissertatie).
- Miranda, J.de (m.m.v. Hiele, P.M.van). De structuur van de onderwijs-situatie als basis voor de opbouw van de didactiek, *Pedagogische Studiën*, 39, p.532, 1962.
- Miranda, J.de. Is scheikunde de wetenschap der atomen? Een vraag met didaktische consequenties, *Faraday*, 32, p.217, 1963.
- NVON-kring Arnhem/Nijmegen. *Reaktie van de NVON-kring Arnhem/Nijmegen naar aanleiding van hetgeen door de 'Cie Groen' is gepresenteerd*, Voorbereid door Deenik, A., Ent, C.van der, Arnold, F.J.C.M., Nijmegen: 1981.
- Ogborn, J. Difficulties of dynamics and some uses for microcomputers, *T.D.N.*, 2, p.189, 1984.
- Pfundt, H. Ein Weg zur Atomhypothese, *Chimica Didactica*, 8, p.143, 1982.
- Roest, J.F. *Algemene Scheikunde*, Utrecht: Spectrum Aula 128, 1965.
- Schweers, J., Vianen, P.van. *Natuurkunde op corpusculaire grondslag*, deel 1, 's Hertogenbosch: Malmberg, 1971.
- Treffers, A. Psychologie, vakdidactiek en ontwikkelingsonderzoek. *T.D.N.*, 2, p.149, 1984.
- Verdonk, A.H. *Chemiebeoefening als universitair onderwijsleerproces*, Utrecht: R.U.U., Inaugurele rede, 1979.

- Verhagen, J., Slits, H. Het elementbegrip fenomenologisch, *Faraday*, 50, blz.196, 1981.
- Visser, J., Bruin, M.A.de. De leraar scheikunde en zijn leerplan, *Faraday*, 50, p.159, 1981.
- Voorde, H.H.ten. *Verwoorden en verstaan*, 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij, 1977 (dissertatie).
- Voorde, H.H.ten. Empirische Didaktiek I, *Faraday*, 47, p.73, 1978a.
- Voorde, H.H.ten. Empirische Didaktiek III, *Faraday*, 47, p.240, 1978b.
- Voorde, H.H.ten. Empirische Didaktiek IV, *Faraday*, 48, p.117, 1979.
- Voorde, H.H.ten. Der chemische Elementbegriff als Ergebnis eines Wechsels in der Betrachtungsweise, *Chimica Didactica*, 10, p.99, 1984.
- Vos, W.de, Verdonk, H.A. 's Rijks wegen naar een leerplan (II), *NVON-maandblad*, 9, p.5, 1984.
- Wagenschein, M. Ein Interview zu seinem Lebenswerk, *Chimica Didactica*, 7, p.161, 1981.
- Wagenschein, M., Buck, P. Demokrit auf dem Zeugenstand, *Chimica Didactica*, 10, p.3, 1984.