

Een relatie tussen begrippen 'stof' en 'reactie' in scheikunde_onderwijs

C. de Jong

Vakgroep Scheikunde, Stichting Opleiding Leraren Utrecht

Inleiding

Veel beschouwingen over het gebruik van de woorden *stof* en *reactie* in scheikunde-onderwijs, en met name het begin van scheikunde-onderwijs, zijn gegeven. Bijvoorbeeld Van Antwerpen (1978a, 1978b); Ten Voorde (1978a, 1978b, 1979a, 1979b); De Vos (1979); Vegting (1982); Lameris (1983a, 1983b); Arnold en Van Berkel (1983).

In gangbare onderwijsmethoden wordt een stofbegrip ontwikkeld vóór een reactiebegrip. In tenminste twee van de hierboven aangehaalde beschouwingen wordt deze volgorde van begrippen ter discussie gesteld. Vegting zegt: 'Dan is eindelijk ook het moment aangebroken voor de samenvattende term *chemische reactie*. Pas daarna kunnen de begrippen *stof* en *zuivere stof* volledig worden gedefinieerd.'

Arnold en Van Berkel noemen een relatie tussen stof en reactie: 'Hiermede is een vicieuze cirkel gesloten, want chemische reacties worden beschreven in termen van verdwijnen en ontstaan van stoffen, terwijl stoffen worden herkend aan de hand van reacties.'

In dit artikel geef ik een formalisering van de betekenis van *stof* en *reactie*. In deze formalisering definiëren de begrippen stof en reactie elkaar. Ik geef ook aan welke weg ik mogelijk acht om in scheikunde-onderwijs naar deze begrippen toe te werken.

Stof

Bij het gebruiken van dit woord blijken al twee betekenissen mogelijk. Ten eerste een die kan worden aangeduid met een citaat uit de eerste druk van de CMLS-tekst voor 3 mavo, paragraaf 1.2:

'In de scheikunde noemen we alles wat je kunt voelen, alles wat massa en gewicht heeft stof.'

In deze betekenis komt het woord alleen in het enkelvoud voor, en niet in combinatie met het onbepaalde lidwoord. Dit zeer abstracte begrip - er is immers

geabstraheerd van vrijwel alle waarneembare of onderzoekbare eigenschappen van de objecten om ons heen - speelt geen rol meer in de laatste versies van chemie 3-mavo en chemie 3 vwo/havo. Hier komt de tweede betekenis naar voren, bijvoorbeeld:

'Alle dingen om ons heen zijn ergens van gemaakt. Een spijker is van ijzer, een autoband is van rubber, een jampot is van glas. IJzer, rubber en glas zijn verschillend. In de scheikunde noemen we dit *stoffen*.' (Chemie 3-mavo; 1981).

Ik beperk mij ook tot deze tweede betekenis. Verschillende stoffen zijn dan te herkennen aan het feit dat zij verschillende stoffeigenschappen bezitten. Ik zou tot hier liever spreken van *materiaal* en *materiaaleigenschappen* omdat het onderscheid tussen *één stof* en *mengsel van stoffen* nog niet kan worden gemaakt. Dat onderscheid kan op twee manieren worden gemaakt:

1. Via de weg van scheidingstechnieken. Chemie 3-mavo en Chemie 3-vwo/havo kiezen hiervoor.
2. Door aandacht te schenken aan samenhangende groepen eigenschappen binnen de eigenschappen van een materiaal. Als de eigenschappen van het materiaal nu één samenhangende groep zijn kunnen we spreken van *één stof*; als we meer dan een samenhangende groepen eigenschappen vinden, kunnen we elke groep *een stof in het mengsel* noemen.

Hiermee sluit ik aan bij een door Lameris (1983a) geïntroduceerde term. Hij zegt: 'Een *stof-in-een-mengsel* is de denkbeeldige drager van dat deel van de *stoffeigenschappen* van een *zuivere stof*, die in een *mengsel* van *homogene materie*, waaraan deze zuivere stof is toegevoegd, worden aangetroffen,' Ik zeg liever: een *stof in een mengsel* is een samenhangende deelgroep van de eigenschappen van een materiaal.

In de uitspraak van Lameris wordt de samenhang van eigenschappen bepaald door een op de stof-in-een-mengsel gelijkend materiaal. Lameris geeft zelf aan dat dit tot problemen leidt ten aanzien van bijvoorbeeld kristalsoda en mengsels van zouten in waterige oplossing.

De samenhang wil ik, zoals Ten Voorde (1979b) doet, zien in de mogelijkheid dat een deelgroep eigenschappen na een actie als geheel uit het materiaal verdwijnt, of als geheel er in ontstaat. Hierdoor verdwijnt de door Lameris (1983b) geconstateerde inconsistentie uit zijn begrip *stof*.

Deze opheffing van inconsistentie is gepaard gegaan met de introductie van de 'vicieuze cirkel' van Arnold van Van Berkel. Immers, bij een consistent beschrijvend stofbegrip hoort nu een notie van verdwijnen of ontstaan van een groep stoffeigenschappen, dat is een notie van een reactiebegrif. Dit kan worden gevoegd bij de door Ten Voorde (1978a) en Arnold en Van Berkel (1983) genoemde argumenten dat

chemische stoffeigenschappen - 'disposities' bij Ten Voorde - noodzakelijk zijn bij het aanduiden van een stof (omdat anders bijvoorbeeld water en waterdamp als verschillende stoffen worden beschouwd).

Ook de methoden chemie 3-mavo en chemie 3-vwo/havo besteden wel aandacht aan chemische stoffeigenschappen. Maar ze doen dat pas als in hun opzet een stof- en reactiebegrif zijn ontwikkeld (in respectievelijk 4.4 en 5.3). Dan wordt bijvoorbeeld kalkwater een reagens op koolzuurgas genoemd, maar niet dat de reactie tussen kalkwater en koolzuurgas een stoffeigenschap van koolzuurgas is (en ook een stoffeigenschap van een van de stoffen in het mengsel kalkwater).

We staan nu voor een keuze: of een onvolledig en inconsistent stofbegrif waarin chemische eigenschappen geen rol spelen, of een stofbegrif dat een reactiebegrif nodig heeft. Ik kies voor het laatste, wat leidt tot de voorlopige formele definitie: Een stof is een groep chemische reacties.

Ter nadere toelichting en samenvatting kan nog dienen dat bij aanwezigheid van de stof in kwestie elk van de chemische reacties uit de groep mogelijk is, en dat al die mogelijkheden vervallen als de stof niet aanwezig is. De groep is aldus samenhangend, maar in principe uitbreidbaar, omdat we door onderzoek nieuwe reactiemogelijkheden kunnen ontdekken.

Hieraan wil ik toevoegen dat alle reacties waarbij een stof ontstaat evenzeer kenmerkend voor die stof zijn. Dit punt is niet zo op de voorgrond getreden, omdat deze reactiemogelijkheden geen waarde hebben bij het vaststellen of een stof al dan niet aanwezig is. Maar om stoffen daadwerkelijk te verkrijgen, en ook bij het later ordenen van stoffen en reacties in soorten, zijn deze reactiemogelijkheden wezenlijk.

Ik breid mijn formele definitie daarom uit tot:

EEN STOF IS TWEE GROEPEN CHEMISCHE REACTIES

namelijk de reactie waarbij die stof verdwijnt, en de reacties waarbij die stof ontstaat.

Reactie

De woorden van chemie 3-vwo/havo: 'Bij chemische reacties verdwijnen de beginstoffen en ontstaan nieuwe stoffen' worden ook steeds gebruikt in de in de inleiding genoemde beschouwingen. Daarmee is niet gezegd dat de vraag: hoe is deze uitspraak bruikbaar voor het herkennen van een chemische reactie? door alle beschouwers op gelijke wijze wordt of is beantwoord.

Wel kan ik hier de stap naar een formele definitie direct zetten:

EEN CHEMISCHE REACTIE IS TWEE GROEPEN STOFFEN

namelijk de groep van stoffen die verdwijnen, en de groep van stoffen die ontstaan. Beide groepen zijn niet-uitbreidbaar: we kunnen steeds aangeven hoeveel stoffen er verdwijnen en hoeveel er ontstaan.

De relatie

Het is duidelijk dat de hier geformuleerde begrippen *stof* en *reactie* geen rol kunnen spelen in een onderwijsaanbod dat hiërarchisch is opgebouwd. Met hiërarchisch opgebouwd bedoel ik een onderwijsaanbod dat uitgaat van begrippen die als bekend (kunnen) worden verondersteld, en op basis daarvan nieuwe begrippen definiëert.

Volgens Van Parreren (1976) is zo een hiërarchische opbouw een noodzakelijke voorwaarde om via uitleg een begrip te onderwijzen. Bij uitleg hoort dan het noemen van kenmerken van het begrip, en het laten zien hoe je met behulp van die kenmerken kunt vaststellen of het begrip van toepassing is of niet.

De consequentie is dat *stof* en *reactie* niet uit te leggen zijn. Om een voorbeeld te geven: als ik *ammoniak* zou willen uitleggen kan ik denken aan de kenmerken:

- A gasvormig bij kamertemperatuur
- B kleurloos
- C prikkelt de neus
- D reageert met zoutzuurgas tot salmiak
- E reageert tot stikstofgas en waterstofgas
- F reageert met een stof in het mengsel kopersulfaatoplossing tot een stof in het mengsel kopertetramminesulfaatoplossing

De eerste drie kenmerken zijn uitlegbaar. De volgende drie echter niet, omdat dan *stikstofgas*, *zoutzuurgas* en andere stoffen moeten zijn uitgelegd, maar ook *reageren met*.

Het onderwijsaanbod

In het gangbare scheikunde-onderwijs ontstaat bij de meeste leerlingen een stofbegrip dat zich beperkt tot de direct waarneembare kenmerken van het bijbehorende gezuiverde materiaal, plus eventueel het smelt en/of kookpunt en de oplosbaarheid in water van dat gezuiverd materiaal. Ik baseer deze uitspraak op ervaringen uit gesprekken met eerste- en tweedejaars scheikunde studenten aan de Stichting Opleiding Leraren. Hun reactiebegrip sluit daarbij aan: er is sprake van een chemische reactie als zo'n direct waarneembaar kenmerk evident verdwijnt of ontstaat. Na een onderwijsaanbod waarin uitleg een belangrijke rol speelt is

het ontstaan van zo'n stof- en reactiebegrip begrijpelijk in het licht van het bovenstaande. In zo'n onderwijsaanbod wordt (hopelijk) veel gewerkt met kleurige materialen als stoffen, en met reacties waarbij kleuren veranderen en materialen in nieuwe aggregatietoestanden ontstaan.

Om tot een stof- en reactiebegrip te komen dat lijkt op mijn formele definities is meer nodig. Wel is, zoals Vegting (1982) opmerkt, en zoals blijkt uit de door Arnold en Van Berkel (1983) gekozen proeven, een eerste fase nodig waarin uiterlijke kenmerken een stof karakteriseren, en waarin waarneembaar verdwijnen en/of ontstaan van zulke kenmerken op een chemische reactie wijzen. Maar direct daarna moet naar mijn mening uit het onderwijsaanbod duidelijk kunnen worden dat de uiterlijke kenmerken slechts signalen voor de stof zijn en niet de stof zelf; en dat het verdwijnen of ontstaan van een kenmerk slechts signaal is voor het verdwijnen of ontstaan van een stof.

Daartoe is het mijns inziens noodzakelijk om over te gaan op het werken met materialen en verschijnselen waarbij uiterlijke kenmerken ontoereikend zijn om tot beschrijving te komen in termen van stoffen en reacties.

Zo zal bijvoorbeeld het signaal: reageert met salpeterzuur tot een blauwgroene oplossing en een bruin gas, minder aandacht krijgen dan: vast, glanzend, rood materiaal, bij velen voor de stof koper, eenvoudig omdat het tweede signaal zoveel directer is. Je hoeft de proef met salpeterzuur niet meer te doen om te weten dat je met koper te maken hebt.

Signalen van het eerste type komen pas goed tot hun recht bij afwezigheid van het directere type.

Ik kom nu tot een fasering van een onderwijsaanbod in vijf stappen om toe te werken naar de gedefinieerde begrippen stof en reactie. Daarbij staan ervaringen met materialen en materiaaleigenschappen centraal.

1. Stof Direct waarneembare kenmerken van een materiaal.
 Voorbeeld: oranje, vast (ammoniumdichromaat).
2. Reactie Waarneembaar verdwijnen en/of ontstaan van kenmerken.
 Voorbeeld: 'iets heftigs', en groen ontstaat en oranje verdwijnt
 (ontleding ammoniumdichromaat).
3. Stof Indirect waarneembare kenmerken van een materiaal, zoals oplos-
 baarheid in water, smeltpunt, maar ook reacties van type 2.
 Voorbeeld: kleurt kopersulfaatoplossing diepblauw (ammoniak).

4. Reactie Niet direct waarneembaar, maar een onderzoek naar stofkenmerken van type 3 wijst uit dat er verdwijnen en/of ontstaan van een of meer kenmerken heeft plaatsgevonden.
Voorbeeld: na toevoegen van (overmaat) zoutzuur aan ammonia is de mogelijkheid tot diepblauwkleurig met kopersulfaatoplossing verdwenen.
5. Stof Samenhangende kenmerken: bij een reactie van type 4 verdwijnt of ontstaat een groep kenmerken *tegelijk*.
- Reactie Verdwijnen en ontstaan van groepen samenhangende kenmerken.
Voorbeeld: Dat bij de verbranding van zwavel een gas ontstaat (reactie van type 2) dat kalkwater troebelt (stof van type 3) wil nog niet zeggen dat er koolzuurgas is ontstaan. Het gas ontkleurt ook broomwater. Als we die kenmerken als samenhangend kunnen zien, dan kan het niet koolzuurgas zijn.

Ontwikkeling en onderzoek

Ik meen dat een ontwikkeling van onderwijsaanbod met name heeft plaatsgevonden ten aanzien van de stappen 1 en 2 van de bovengenoemde fasering. Juist het *blijven* werken met materialen met direct waarneembare kenmerken, en met reacties waarin waarneembare kenmerken verdwijnen of ontstaan, zou een oorzaak kunnen zijn voor het niet verkrijgen van een stof- en reactiebegrip door leerlingen dat lijkt op de hier gegeven formele betekenissen. Dit is een hypothese die mijns inziens verdient in chemiedidactisch onderzoek nader te worden bekeken.

Daarbij lijkt het mij nuttig om stappen 3 en 4 uit de fasering te ontwikkelen. Hiervoor is een onderwijsaanbod nodig dat gebruik maakt van materialen zonder opvallende direct waarneembare kenmerken, zoals witte poeders en kleurloze vloeistoffen. Om een goede aansluiting met het voorafgaande te behouden moeten met een aantal van deze materialen reacties van het type 2 uitvoerbaar zijn. Om te kunnen voorbereiden op stap 5 moet met een betrekkelijk klein aantal materialen een zo groot mogelijk aantal reacties van type 2 of 4 mogelijk zijn, opdat er per stof een zo groot mogelijke groep kenmerken ontstaat.

Ik meen hiermee een aantal criteria te hebben aangegeven waaraan te ontwikkelen onderwijsaanbod bij het in dit artikel genoemde stof- en reactiebegrip moet voldoen.

Literatuur

Antwerpen, A.P.v. Stofeigenschappen, *Faraday*, 47(3), p.102, 1978a.

Antwerpen, A.P.v. Het begrip chemische reactie, *Faraday*, 47(5), p.199, 1978b.

- Arnold, F.J.C.M. en Berkel, A.A.J.v. Spektakels en gezichtspunten bij TUE, *Faraday*, 52, 3, p.69, 1983.
- Chemie 3-mavo*, Groningen: Wolters-Noordhoff, 1981.
- Chemie 3-vwo/havo*, Groningen: Wolters-Noordhoff, 1983.
- Lameris, G.H. Een mogelijke kennisstructuur voor het beginonderwijs in de scheikunde (I), *Faraday*, 52, 1, p.2, 1983a.
- Lameris, G.H. Een mogelijke kennisstructuur voor het beginonderwijs in de scheikunde (II), *Faraday*, 52, 2, p.43, 1983b.
- Parreren, C.F.v. *Leren op school*, Groningen: Wolters-Noordhoff, p.29, 1976.
- Vegting, P. Een hardstikke nieuwe stof, *Faraday*, 51, 2, p.151, 1982.
- Voorde, H.H.ten. Empirische didaktiek (II), *Faraday*, 47, 5, p.183, 1978a.
- Voorde, H.H.ten. Empirische didaktiek (III), *Faraday*, 47, 6, p.240, 1978b.
- Voorde, H.H.ten. Empirische didactiek (IV), *Faraday*, 48, 3, p.117, 1979a.
- Voorde, H.H.ten. Empirische didaktiek (VI), *Faraday*, 48, 5, p.221, 1979b.
- Vos, W.de. Oosterwoldiger berichten (V), *Faraday*, 48, 5, p.219, 1979.