

Een begripsinhoudelijke analyse van 'stof'

Peter Buck¹ en Andrea Lenz
Pädagogische Hochschule Heidelberg, West Duitsland

Summary

The concept of 'substance' and some related concepts are being discussed within the scope of education in elementary chemistry. The chemistry teacher, in contrast to the chemist, should be aware of several meanings of words like substance, material and element which frequently occur in chemistry teaching and learning situations. The authors give a survey of the field, thereby comparing their own interpretations with these of other authors.

1.

Wij beweren: met 'stof' wordt, net als overigens met andere vaktermen, volstrekt niet iets ondubbelzinnigs, en zelfs bij één en dezelfde spreker niet steeds hetzelfde bedoeld. Dat dit, wanneer het waar is, vooral bij leerlingen een bron van misverstanden vormt, is duidelijk. Toch hebben wij de indruk dat slechts weinig docenten zich hiervan bewust zijn.

2.

Buck (1986c) heeft bovenstaande bewering al gedeeltelijk kunnen onderbouwen. De voorbeelden die hij daarbij koos zijn in dit artikel door andere vervangen, omdat wij ons niet op het niveau van anecdotes maar op dat van verschijnselen willen bewegen.

3.

Als ik een reep chocolade koop, de chocolade opeet en het (uit hout gefabriceerde) pakpapiertje weggooi, blijft er nog iets over. Dit iets heet soms 'chocoladepapier', soms 'zilverpapier', en ook wel 'aluminiumfolie'. Weniger (1979) zou het een 'aluminiumportie' noemen. Wie weet, bestaan er nog meer namen.

Als wij afspreken, dat wij afzien van de grootte en de folievorm, dan hebben we met 'aluminium' te maken. Door bewust afstand te nemen hebben wij weliswaar een context geschapen, maar nog lang niet de

inhoud van het begrip 'aluminium' ondubbelzinnig vastgelegd. Binnen dit ruime kader kan Aart in zijn eigen context met 'aluminium' het materiaal bedoelen, dat onder een wals tot folie wordt geplet. Maar Bart kan, als chemicus, ermee willen aangeven dat aluminium niet in twee of meer andere stoffen kan worden ontleed (Weninger (1982) zou zeggen: 'ontenigd'), en dus een element genoemd moet worden. Met 'element' bedoelt Bart een zeer bepaalde categorie van stoffen. Dan hebben we nog Corrie, die beweert dat bauxiet of pijpaarde 'aluminium' bevat. Natuurlijk begrijpen wij, dat Corrie niet de stof maar het element aluminium bedoelt. Ook hier heeft 'element' een heel speciale betekenis. Maar wat raar toch: Bart noemde zijn stof ook 'element' en bedoelt daar beslist niet hetzelfde mee als Corrie. 'Geen nood', zegt Daan, 'je lost al die problemen op als je maar op de aluminiumatomen let. Dat kan toch niemand ontkennen: overal atomen!' 'Zijn aluminiumatomen van aluminium?' vraagt Emmie. Zo'n naieve vraag kan natuurlijk alleen maar van een leerling komen - en die hebben wij hier eigenlijk op het oog.

4.

Waarschijnlijk hebben wij nog niet iedereen aan de beurt laten komen. Uiteraard komen wij in het alfabet ook bij Henk, Pieter of Willem aan. Het lijkt noodzakelijk, de verschillende begripsinhoudelijke betekenissen van 'aluminium', of algemener van 'stof' in kaart te brengen. Daarover gaat het hier.

Terloops opgemerkt: het maakt verschil, of wij Emmy willen verstaan, of Emmy iets (b.v. de vaktaal van de chemici) willen laten leren, of Emmy willen leren anderen te verstaan. Daarover zou echter een ander artikel moeten worden geschreven.

5.

In het bovengenoemde artikel (Buck, 1986c) was een 'aspectenster' opgenomen. Deze zal hier zo moeten worden uitgebreid, dat aan de ene kant de talrijke begripsinhouden kunnen worden gelocaliseerd en aan de andere kant een overzicht mogelijk wordt.

Let wel: het gaat in dit artikel hoofdzakelijk over begripsinhoud en niet zo zeer over voorstellingen achter de begripsinhoud, noch over begripsontwikkeling als activiteit. Eigenlijk is het niet mogelijk een begripsinhoud van voorstelling en manier van toeëigening te scheiden. Elke voorstelling en toeëigeningswijze modificeert de inhoud van een begrip. Zoals de schaduw van een roos op de muur kleur noch geur heeft, zo wordt in dit artikel niet over het volle begrip 'stof', maar alleen over zijn inhoudelijke projectie gepraat. Bovendien maakt de toegestane lengte van dit artikel het onmogelijk iedere nuancering in betekenis volledig te beschrijven.

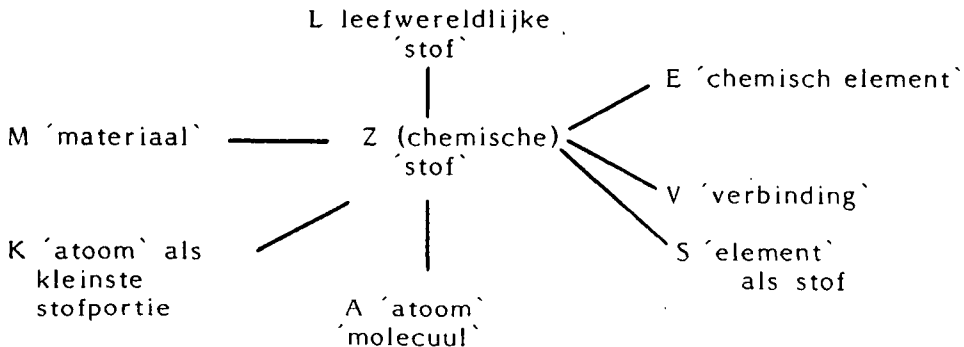


Fig.1 Aspectenster voor de betekenissen van het begrip 'stof'.

6.

In figuur 1 is een aantal begripsinhouden van 'stof' met letters aangegeven. Wij willen ze op zichzelf of in samenhang met verwante begripsinhouden bespreken. Het gaat ons vooral om het voorkomen van begripsinhouden. Of deze tijdelijk, veranderlijk of stabiel zijn blijft buiten beschouwing; de mogelijkheden om dergelijke vragen te beantwoorden hangen af van het beschikbare onderzoeksmateriaal. Op de principiële vragen van Jochems (1986) komen wij in paragraaf 10 terug.

7.

Het begripveld bij L ('stof' als leefwereldbegrip) en de relatie tussen L en Z (chemische 'stof') bespreken we aan de hand van een protocol uit het proefschrift van Ten Voorde (1977):

Protocol 7*. (gesprekje met dezelfde leerling als in protokol 3, op 6-10-1968)

- 1 L.: Kies een naam voor de gele vloeistof die ontstaat bij het smelten van zwavel.
 l.: Zwavelvloeistof.
 L.: Vind je dit dezelfde stof als zwavel?
- 5 l.: Nee, want het is vloeibaar, niet bros, geen kristalletjes. Maar toch is het zwavel⁺, want het uiterlijk is hetzelfde want de stof waaruit het bestaat is zwavel, bijvoorbeeld

- de kleur. Het bestaat uit het wezenlijke wat zwavel inhoudt.
- 10 L.: Wat betekent dit?
 l.: Wat dit precies is weet ik niet, ik ken wel de eigenschappen van zwavel.
 L.: Welke eigenschappen?
 l.: Gele kleur, helder.
- 15 Ja, het is toch wel anders, want het is een vloeistof.
 L.: Krijg je na afkoeling dezelfde stof terug?
 l.: Niet dezelfde stof, want nu heb je pijpzwavel gekregen en geen zwavelpoeder.
- 20 L.: Ken je verschil in stofeigenschappen tussen pijpzwavel en zwavelpoeder?
 l.: Nee. Dus is het dezelfde stof ...
- 23 maar toch geen zwavelpoeder.

(+: hij vergelijkt dit met de overgang van ijs naar water)

Fig.2 Protocol van een gesprek waarin een chemisch begrip 'stof' zich van een leefwereldlijk begrip 'stof' afsplitst (uit Ten Voorde, 1977, deel I, p.340).

Ten Voorde wijst in zijn interpretatie op 'de aanschouwelijk gebonden leefwereld, waarbinnen een vaste stof en een vloeistof verschillende stoffen worden genoemd.' (1977, deel I, p.340). Wij zijn het met Ten Voorde eens als hij deze opvatting indeelt bij de leefwereld. En toch beschouwen wij zijn interpretatie (tijdens het gesprek als deelnemer en na afloop van het gesprek) als een misverstand.

8.

Het woord 'stof' is een homoniem: naar gelang de context wordt stof b.v. in het Duits met 'Stoff' (= stof₁) of met 'Staub' (= stof₂) vertaald.

Wij begrijpen l's antwoorden (fig.2) in de regels 5,15 en 22/23 als een differentiatieproces: het als één samenhangend begrip gehanteerde 'stof' scheidt zich in twee begrippen: stof₁ (nauwkeuriger: chemische 'stof') en stof₂. Dit kan althans als het begin van een dergelijke onderscheiding worden opgevat. Waarom zou l anders argumenteren met de woorden 'bros, geen kristalletjes' (regel 5/6) en 'geen zwavelpoeder' (r.19 en 23)? Ten Voorde daarentegen heeft in het kader van zijn eigen onderzoekscontext (waarvan de gegeven experi-

mentele onderwijsopzet deel uitmaakt) een afgrenzing van Z tegen M ('materiaal'- zie fig.1) geconstateerd. Bij M zijn vloeibaarheid, poedervorm, enz. immers onderscheidingskentekens, bij Z niet meer. Op M komen wij in paragraaf 11 en 12 terug.

9.

Met het voorbeeld van figuur 2 en de interpretatie ervan in paragraaf 8 kunnen wij ons overigens tegenover Ten Voorde revancheren. Hij was het namelijk, die ons op een ander leerling-leraar -misverstand attent maakte, dat als aanvullend voorbeeld voor een stofbegrip uit de leefwereld kan dienen: in een onderwijssituatie had een meisje 'Kochsalz' als 'gekookt zout' opgevat en daarop gebaseerde activiteiten ontplooid. Dit voorbeeld is uitvoerig door Buck (1986a) geanalyseerd.

Bij Hiller (1973) is een onderwijsprotocol te vinden, waar het homoniem stof in de betekenissen chemische stof (= stof₁) en textiel (= stof₂) een rol speelt. In een protocol van Eckstein (1986, regel 128/129) is Königswasser (een mengsel van zoutzuur en salpeterzuur) voor Andreas een soort water. Het is niet moeilijk nog meer voorbeelden van dit stofbegrip te vinden.

Karakteristiek voor L is dus de nog niet specifiek geworden vakcontext (chemisch of anders) van 'stof'. Ten Voorde (b.v. 1977) beschrijft dit als 'grondniveau'. Eén verschijningsvorm van L is het ongescheiden homoniem, een andere het 'letterlijk opvatten'. Een chemicus is misschien geneigd, L als misverstand per se te beschouwen. Voor een docent lijkt ons dit geen acceptabel standpunt.

10.

Een volledige zekerheid dat wij in paragraaf 8 het begrip 'stof' van de leerling l. of in Buck (1986a) het begrip 'Kochsalz' van leerling C, werkelijk hebben geïdentificeerd is nauwelijks te bereiken. In zoverre geven wij Jochems (1986) met zijn vraag- en uitroepetekens gelijk. Het feit dat wij in paragraaf 8 tot een andere interpretatie dan die van Ten Voorde komen, ondersteunt deze stelling binnen zijn kader (namelijk of we zekerheid in de interpretatie van protocollen kunnen bereiken). En toch is zijn bezwaar voor onze probleemstelling en die van Ten Voorde irrelevant: doordat we deze interpretaties geven, wijzen wij op mogelijkheden. Op de bekendheid van de leraar met deze mogelijkheden komt het bij het proces van begrijpen in gespreksituaties immers aan. In fenomenologisch-filosofische termen gesproken verruimen wij onze 'horizon', hetgeen altijd voorafgaat aan begrijpen. Wij wapenen ons dus met (plausibele) interpretaties om een mogelijke kloof van misverstanden (zie Ten Voorde, 1977, p.35, Ten Voorde, 1978 en Ten Voorde, 1983) te voorkomen.

Aristoteles maakt nauwkeurig onderscheid tussen 'actuele gegevenheid'

en 'potentiële gegevenheid'. Bij hem is potentieel niet minder waar dan actueel. In zijn op finaliteiten (doeleinden) gerichte filosofie hebben beide dezelfde status. Ook ons onderzoek is op een doel gericht, namelijk een kloof van misverstaan te vermijden. Maar wij willen graag erkennen, dat beschrijving van het actueel gegeven op ons onderzoeksgebied duidelijk moeilijker is.

11.

Een aantal schoolboeken voor beginonderwijs in de scheikunde, b.v. Beck en Häusler (1984); Greb, Kemper en Quinzler (1980) of Morgenstern en Christen (1981), introduceert het stofbegrip via de oude onderscheiding materia-forma; figuur 3 is een voorbeeld:



Fig.3 Afbeelding uit het schoolboek van Morgenstern en Christen (1981) waar stof- en materiaalbegrip samenvallen.

Deze introductie roept problemen op, en niet alleen om systematische redenen heeft Buck (1985), voorgesteld in het scheikunde-onderwijs onderscheid te maken tussen de begrippen (chemische) 'stof' Z en 'materiaal' M. Het volgende (verzonnen?) dialoogje (fig.4) laat ons zien waar het om gaat:

Leerlinge: U zegt dat kleur wel een stofeigenschap is en geluid niet. Maar geluid is toch ook een stofeigenschap?

Leraar: Nee, geluid is geen eigenschap van de stof zelf.

Leerlinge: Maar als U mij een blinddoek voor doet en als U daarna in willekeurige volgorde met een flesje water en een flesje zand gaat schudden, kan ik beide stoffen toch herkennen? Want water klotst!

Leraar: Ik heb wel eens een hond horen blaffen en een haan horen kraaien, maar zand en water heb ik nog nooit horen piepen of miauwen.

Leerlinge: Maar piepschuim piept wel!

Leraar: Dat is zo, maar piepschuim piept toch niet uit zichzelf?

Leerlinge: Maar als U het licht uit doet, heeft een stof toch ook geen kleur meer?

Fig.4 Dialoog, waarin de omschrijving van stofeigenschappen mislukt, uit: Reiding en Franken (1984), p.13.

Het is duidelijk: noch kleur, noch geluid zijn stofeigenschappen, maar het zijn wel materiaaleigenschappen. Een xylofoon kan niet uit loden plaatjes worden gemaakt, maar natuurlijk ook niet uit aluminiumkoreltjes. In glas opgelost goud maakt het glas robijnrood. Zinkoxide (een wit verfpigment) wordt boven 440°C citroengeel (reversibele thermochromie), de damp van kwik is kleurloos en niet zilverglanzend of grijs. We maken dagelijks afvalwater uit drinkwater en de alpinist steekt een gletscher over - voor hem is de hoedanigheid van het materiaal ijs belangrijk, maar van het chemisch standpunt Z uit gaat het gewoon om water, alleen maar water (zie ook Minssen en Buck, 1986).

Z laat principieel de gegeven aggregatietoestand buiten beschouwing (ijs, vloeibaar 'water' en waterdamp worden immers als één stof 'water' beschouwd), terijl M (tenminste in de context van 'gemaakt uit') slechts van de gegeven vorm afziet. In figuur 3 zou men beter 'materiaal' in plaats van 'stof' kunnen zeggen. Met andere woorden: de auteurs van figuur 3 gaan uit van (of presenteren) een ongedifferentieerd begrip 'stof', dat als M-Z in figuur 1 kan worden gelocaliseerd. De Jong (1986) behandelt de dialoog van figuur 4. Hij schetst hoe zulk een ongedifferentieerd begrip 'M-Z' (dat bovendien met nog allerlei andere betekenisinhouden 'gecontamineerd' kan zijn, zie ook Buck (1986b) langzamerhand in een vakterm Z kan worden veranderd (De Jong, 1986, p. 56/57).

12.

Kleur, dichtheid en elektrisch geleidingsvermogen niet tot de stoffeigenschappen te rekenen is in scheikundeonderwijs heel ongebruikelijk. Integendeel: naast kook- en smeltpunt worden vooral vaak deze eigenschappen als karakteristieke stoffeigenschappen genoemd. In hoeverre dit correct is hangt ervan af waar men de grens tussen M en Z trekt. De leraar van figuur 4 heeft - zoals De Jong terecht veronderstelt - als criterium voor Z het eigenschapsbehoud bij vorm- en hoeveelheidsverandering genomen.

Breidenbach (1980) kiest de eigenschappen 'elektrische weerstand' (afhankelijk van vorm) en (kwalitatief) 'elektrisch geleidingsvermogen' (onafhankelijk van vorm en hoeveelheid) om een grens tussen Z en M aan te geven.

In de zin van onze opvatting van Z (paragraaf 11, uitvoeriger in Buck (1985a) en Buck (1986c)) is elektrisch geleidingsvermogen geen stoffeigenschap, want men moet in Z vast en vloeibaar zout (b.v. natriumchloride) als één en dezelfde stof beschouwen, maar een brok vast zout geleidt wisselstroom zo goed als niet, terwijl gesmolten zout dat uitstekend doet. (In een ander artikel willen wij uitleggen, hoe het hier bekeken grensafbakeningsprobleem of definitorisch (b.v. door de thermodynamici, die uitdrukkelijk $T = \text{const}$ en $P = \text{const}$ poneren), of synoptisch (b.v. door bewaring van aanschouwelijkheid) kan worden opgelost.)

13.

Overigens: het materiaalbegrip M, dat ook door Van Sprang en Ten Voorde (1986) wordt geaccepteerd, is veel gecompliceerder dan in figuur 1 tot uitdrukking komt. Voor iemand die bijvoorbeeld een mooie wonderkaars wil fabriceren, maakt het een groot verschil, of hij magnesiumpoeder of magnesiumvijsel of magnesiumspanen ter beschikking heeft. De begripsinhoud van materiaal is hier anders dan in de context van figuur 3. In het proefschrift van Ten Voorde staat een mooi onderwijsprotocol over 'krijt' en 'krijtje' (1977, p.129-132; 1978, p.81/82). Maar aangezien we ons hier op Z willen concentreren zullen we ons niet verder met M bezighouden.

14.

Aan de andere kant van Z vinden we in figuur 1 twee keer 'element'. We kijken eerst naar E en dan naar S, maar wij willen toch vooraf op het verschil tussen E en S wijzen: E is een 'principe' en van geheel andere aard dan Z: E blijft in chemische reacties behouden, terwijl S een bepaalde subklasse van de klasse Z voorstelt. V is een andere subklasse, zodat Z, S en V van dezelfde aard zijn: ze verdwijnen en ontstaan bij chemische reacties.

15.

Het begrip 'element' in de zin van E kan men op verschillende manieren ontwikkelen en afhankelijk van die ontwikkeling is de begripsinhoud niet precies gelijk. Ten Voorde beschrijft (b.v. 1981 en 1984) één begripsontwikkeling van E. Schlöpke (1985) een andere en weer heel anders is die van Buck (1985a). Niettegenstaande hun verschillende benaderingen resulteren ze in vergelijkbare begrippen E, die met de begripsinhoud van S niets te maken hebben.

16.

Zo als Z van ontstaan en verdwijnen van de aggregatietoestanden afziet, zo ziet E van het ontstaan en verdwijnen van de chemische stoffen Z_1 , Z_2 en Z_3 af. Men spreekt van elementbehoud, b.v. als men zegt, dat magnesia (dat bij het verbranden van magnesium in lucht ontstaat) magnesium bevat. Men bedoelt dan immers niet de zilverkleurige, stroomgeleidende stof maar datgene, wat de stoffen magnesium en magnesia gemeenschappelijk hebben. Ten Voorde (1984) spreekt van 'een spoor van ..', Schlöpke (1985) en Lavoisier (1983, p. 121) van 'principe'.

Het begrip E wordt veel gebruikt: b.v. 'ijzer in bloed', 'aluminium in bauxiet', 'kalium in de grond'. In de etalage van een apotheek lezen we onlangs over de 'minerale stoffen calcium, magnesium, enz.' in het voedsel. De begripsinhoud van het woord 'stoffen' is hier ook E. Universitaire chemieboeken gebruiken E in uitspraken als 'ammoniak is uit de elementen waterstof en stikstof opgebouwd' (Holleman en Wiberg, 1985, p.22) of dat 'in het ons toegankelijke gedeelte van de aarde ... de helft van de massa uit zuurstof en een kwart uit silicium bestaat' (Holleman-Wiberg, 1985, p.62). Alleen een klein gedeelte van de hier bedoelde zuurstof is in de atmosfeer te vinden, het grootste gedeelte in de hydro- en de lithosfeer. Aangezien deze uitspraken vòòr de 'iets exactere' - atomaire - formulering van het elementbegrip (Holleman-Wiberg, 1985, p.77) staan is, althans voor lerenden, E bedoeld. Wij hebben geen idee, of de auteurs zich van een verschil tussen E en S (en A) bewust zijn. In hun leerboek besteden zij er geen aandacht aan.

17.

Maar ook voorbeelden van S zijn niet moeilijk te vinden. De schoolboeken staan er vol van, vooral doordat dit begrip in de geschiedenis van de scheikunde een grote rol speelt. In S slaat de naam 'element' op de grepen van stoffen Z, die in 'ontledingsreacties' ('Enteiningen' zou Weninger (1982) zeggen; Ten Voorde (1981, 1984) noemt ze $1 \rightarrow 2$ reacties) niet verder 'gescheiden' kunnen worden. Wij tonen het voorkomen van S aan met protocolfragmenten uit het proefschrift van

Haupt (1980), omdat deze op een nieuw begripsinhoudelijk probleem wijzen:

- L.: "Wisst ihr, was Elemente sind? Seht, ich habe hier einige mitgebracht: Schwefel, Magnesium, Eisen, Kupfer"
- S.R.: "Also Elemente sind die ... Elemente bestehen aus einer Atomsorte und Verbindungen aus mehreren Atomsorten! ... Aus einer reinen Atomsorte bestehen Elemente!" (344)
- L.: "Und was meinst du, Andreas?"
- S.A.: "Also Elemente, das ist rein ... das ist ohne andere Zusätze. Und Verbindungen, das ist ... das sind also mehrere ... wenn welche zusammen sind." (348)
- L.: "Fein! Wenn wir jetzt eine Verbindung haben, sind die Atome also untereinander verbunden. Wie ist das bei den Elementen? Sind die Atome dann auch untereinander verbunden?"

Keine Antwort

Fig.5 Gespreksprotocol ter staving van 'element' als stofklasse uit Haupt (1980, Tonbandprotocoll 19).

In alle gesprekken, waarin het woord 'element' voorkomt, bedoelt Haupt daarmee steeds de concrete inhoud van de fles. Aangezien hij hierdoor het woord element in de zin van S heeft vastgelegd, heeft hij voor de begripsinhoud E geen woord meer en moet hij uitwijken naar atomen A. Weninger en Pfundt (1979) nemen dit dilemma zelfs uitdrukkelijk (zoals Dierks ons heeft verzekerd) als chemiedidactische basis voor de invoering van de atomen. Zij zijn verstandig genoeg, om dan consequent het woord 'element' te vermijden.

18.

De kloof van onverstaanbaarheid, die ontstaat wanneer men een tegenstrijdig begripssysteem als dat van Haupt (1980) gebruikt, blijkt b.v. uit figuur 6.

- L.: Es werden einige Proben von Elementen und Oxiden gezeigt: Fe - Fe_2O_3 - Fe_3O_4 , Mg - MgO , Hg - HgO , Zn - ZnO , S, C. (441)
"Seht, das hier sind einige Elemente und hier ihre Verbindungen mit Sauerstoff. Könnt ihr mit in etwa erklären, was ein Element ist?" (444)
- S.U.: (Entrüstet) "Oh, Element! Da haben wir im Unterricht eine halbe Stunde rumgeraten, praktisch, was das war, ein Element. Genau die Definition dafür? ... Moment. Ein Element ist, wenn nur die Atomsorte von diesem einen, meinerwegen von Schwefel, nur Schwefelatome vorhanden sind. Die dürfen auch nicht gebunden sein, also wie O zwei. Also es müssen nur ein Schwefelatom da sein mit seinen Elektronen. Das ist das Grundelement praktisch, dann ... kann man so sagen ungefähr." (453)
- L.: "Das ist ganz recht, ich muss aber doch nachhaken ..."
- S.A.: (Fällt ein) "O zwei ... oder?"
- S.U.: "Ja, O zwei! Das ist doch kein Einzelement!"
- S.A.: "Das ist doch genau das gleiche. Zwei Eisen müssen doch auch ein Grundstoff sein. Das ist doch nur, wenn es den gleichen Stoff hat und wenn das dann nicht verbunden ist."
- S.U.: "Aber das ist doch verbunden! Und wenn es jetzt nicht verbunden ist? Das ist doch zum Molekül jetzt verbunden, d.h. ein Molekül. Aber man kriegt's ja auch einzeln, glaub' ich, soviel ich das weiss."

L.: "Die Teichen der Stoffe, die Atome beispielsweise, sind die nun auch in einem Element untereinander verbunden, oder sind sie nicht miteinander verbunden?" (469)

S.U.: "Nein, das ist kein ... Also ich finde, dann ist es ja kein Element mehr."

Fig.6 Gespreksprotocol ter illustratie van 'element' als stofklasse uit Haupt (1980) Tonbandprotokol 17)

Voor Uwe (S.U.) is 'Atom' het 'Element' (regel 451-453, 470-471) en met 'Element' bedoelt hij kennelijk de 'erste Aufbaustein' (zoals Pfundt (1981) dit noemt) en niet L.'s (Haupt's) 'element' (in de zin van S) dat 'als Probe ... gezeigt' (regel 439/440) kan worden. Zo lang dit verschil van opvattingen geen thema wordt, is hier een valkuil voor misverstanden gegraven.

19.

In het gesprek in figuur 6 is onduidelijk, of 'atoom' hier verstaan moet worden in de zin van A is in de zin van K (fig.1). 'Atoom' in de zin van A is weliswaar visueel niet voorstelbaar maar toch zeker denkbaar, of in Heisenberg's klassieke formulering: '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' (Heisenberg 1947, p.97). A heeft, in tegenstelling tot K, een immateriële begripsinhoud; daardoor kan Schlöpke (1985) ook E met A identificeren, want ook E wordt immaterieel opgevat.

'Atoom'-materieel - in de zin van K daarentegen is het kleinste gele zwavelkorreltje, waarvan ontelbaar vele de gele stof 'zwavel' maken. Aan figuur 7 uit het Nuffield 0-level curriculum (1978) ligt zulk een begrip ten grondslag.

Ook K is dus, net als S, van dezelfde aard als Z. Maar terwijl S een onderklasse van Z is, dus door indeling van soorten Z ontstaat, ontstaat K via het idee van mechanistische verkruiemeling of het idee van steeds sterker wordende optische vergroting.

20.

De tot nu toe besproken begripsinhouden L, M, Z, E, V, S en A corresponderen met zakelijke gegevens. Voor K is dit niet het geval. K is een echt misverstand, een onjuiste voorstelling achter het begrip atoom (zie ook Buck, 1986c). Om deze reden is K in figuur 1 ook cursief gezet. Toch mag men K niet onderschatten, want K is een

machtig werkzaam begrip, en heel symptomatisch heeft het zelfs het denken van ervaren leerboekauteurs gestempeld. Een hele reeks van 'symptomatische halfwaarheden' in leerboeken en andere leermiddelen kan worden verzameld (zie b.v. Buck, 1985b)

21.

De Vos (1985, p.118-122) maakt duidelijk, dat men op basis van de theorie van Piaget alleen maar bij uitzondering een atoombegrip A bij leerlingen kan verwachten. Daarom is het moeilijk, in onderwijs-gesprekken of interviews, aanwijzingen voor A, te vinden. In Buck (1987) is beschreven, hoe Sonja in een onderwijsgesprek uitroept:

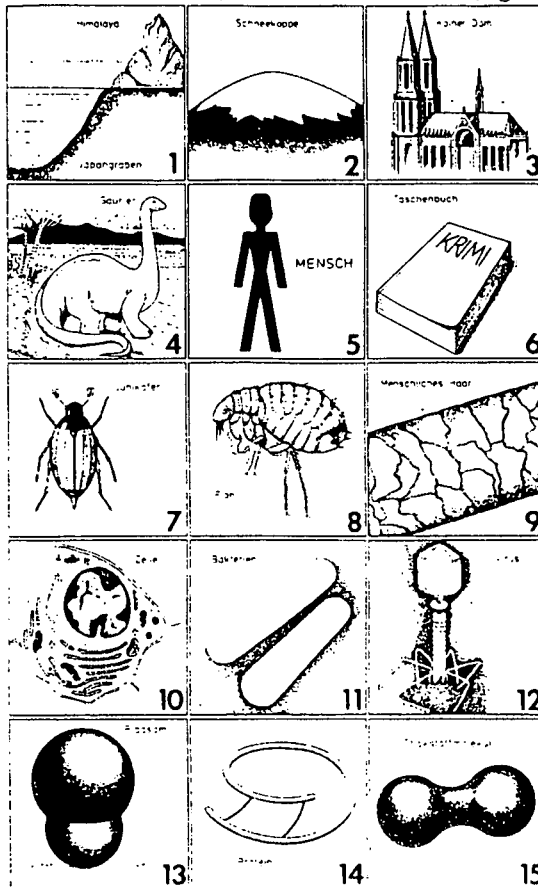


Fig.7 Ter projectie ontworpen serie van plaatjes, waar geen categoriaal verschil gemaakt wordt tussen 'molecuul' en 'stof' uit Nuffield 1978, p.177.

‘Maar als men het (een atoom) toch niet kan zien, dan kan men het toch ook niet tekenen!’ Sonja laat tenminste blijken, dat ze begrijpt, waar de hele verklaring van leraar B. op uitloopt. Of voor haar een atoom een immaterieel ‘mathematisches Gebilde’ (Heisenberg, 1947) geworden is, of dat haar vraag alleen maar een gevolg van een conflict met haar kinderlijk realisme is, kunnen wij niet vaststellen. 22.

Atomaire voorstellingen (‘corpusculaire theorieën’) hangen natuurlijk heel nauw samen met het stofbegrip. Toch kunnen we hier niet in alle details verder differentiëren. In plaats daarvan wijzen wij daarom op de classificatie van Dijksterhuis (1956, II, par.139), fig.8:

De elementaire deeltjes zijn I reëel voortbestaand II virtueel voortbestaand	A qualitatief gelijk Demokritisch	B qualitatief verschillend Empedokleisch Aristotelisch
	—	

Fig.8 Klassificatie van atoombegrippen, die in dit artikel onder A gesubsumeerd zijn, uit Dijksterhuis (1956, II, par. 139).

Kircher (1984, 1986), die uitdrukkelijk naar Dijksterhuis verwijst, gebruikt deze classificatie echter niet, hoewel het naar onze mening een uitstekend ordeningsschema voor een indeling van atomaire voorstellingen en begrippen kan zijn. Ook Pfundt (1981) en Dahlmann (1984) differentiëren niet volgens fig.8.

23.

Wij hebben in de par. 7, 11, 13 t/m 19 en 21 door tekstpassages, gespreksprotocollen en schoolboekillustraties verschillende (door namen en letters gekenmerkte) begrippen tegen elkaar afgegrensd, die alle - verwarrend - dezelfde naam ‘stof’ dragen of kunnen dragen. In geen van deze passages, protocollen of illustraties wordt op de verschillen in betekenis gewezen, hoewel toch verwacht mag worden, dat er een aanzienlijk potentieel aan leer- en begripsmoeilijkheden in schuilt.

Deze moeilijkheden kennende, besteden Ten Voorde (1977) en Weninger/Dierks/Pfundt (1979) in hun onderwijsconcepten bijzonder veel aandacht aan een strenge (Ten Voorde zegt ‘gedisciplineerde’) en expliciete begripsvorming. Zij hebben voor heel bepaalde begripsinhouden gekozen, die in figuur 1 gelocaliseerd kunnen worden, en die natuurlijk ook nog duidelijker omschreven of gedefinieerd kunnen

worden. Hun concepten vereisen een zorgvuldige programmering. Het lijkt ons echter twijfelachtig, of een dergelijke programmering - althans voor oudere leerlingen en studenten - noodzakelijk is. Kan men deze begripssituatie op zichzelf niet thematiseren (b.v. met een schema zo als in figuur 1) om te bereiken, dat streng geformuleerde vaktermen worden vermeden, die maar al te snel het etiket 'uitsluitend correct' dragen? Het voordeel van zo'n concept met zijn klemtoon op begripsvorming door discussie is een bewegelijk begripen in de verschillende situaties en contexten. Ook De Jong en Ten Voorde streven ernaar, het woord als afhankelijk van de context te laten leren: 'Opmerkzaam zijn voor gebruikte woord-combinaties' - en wij zouden er graag aan toevoegen: nadenken over wat met het ene of andere woord bedoeld is - 'draagt bij tot het zicht krijgen op de verschillende betekenissen of de verschillende begrippen.' (De Jong, 1986, p.57).

Noot:

- I. Ik dank Wobbe de Vos hartelijk voor zijn hulp: hij heeft mijn nederlandse teksten van germanismen en taalfouten ontdaan en hier en daar een fraaiere formulering gevonden.

Literatuur

- Beck, W. & Häusler, K. Chemie, München: R.Oldenburger Verlag, 1984.
- Breidenbach, E. Chemieunterricht in der Orientierungsstufe, Die Deutsche Schule, 72, 3, 1980.
- Buck, P. Ein vierter psychogenetisch-didaktischer Zugang zum Atombegriff, Chimica Didactica, 5, 201-214, 1979.
- Buck, P. Eine Unterrichtseinheit über die Natur der Atome, Chimica Didactica, 7, 5-25, 1981.
- Buck, P. Verstehen und Missverstehen - Beobachtungen an 15 Minuten Chemie-Gruppenunterricht. In: A.Weber (Hrsg.). Kooperatives Lehren und Lernen, Heinsberg: Agentur Dieck, 388-405, 1986a.
- Buck, P. 'Material', 'Stoff', 'Element' - von der Ausblendung des Prozessualen in der Chemie, Chimica Didactica, 11, 27-44, 1985a.
- Buck, P. Symptomatische Halbwahrheiten IV, Kohäsion Chimica Didactica, 11, 125-132, 1985b.
- Buck, P. Begriffsbildung als Differenzierungsprozess. In: H.Mikelskis (Hrsg.). Zur Didaktik der Physik und Chemie 1985, Alsbach: Leuchtturm-Verlag, 115-117, 1986b.
- Buck, P. Der Sprung zu den Atomen, zur Veröffentlichung angenommen, Physica Didactica, 1987.
- Buck, P. Vorstellungen hinter dem Begriff 'Stoff', Naturwiss. im Unterricht, 34, 136-140, 1986c.

- Dahlmann, W. Zur Vorstellung vom kontinuierlichen und diskontinuierlichen Aufbau der Materie, 2. Teil: Testkonstruktion und Ergebnisse, Chimica Didactica, 10, 223-271, 1984.
- Dijksterhuis, E.J. De mechanisering van het wereldbeeld, deutsch: Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1956.
- Eckstein, V. Mineralwasser, Chimica Didactica, 12, 1986. (in Vorbereitung).
- Greb, E., Kemper, A. & Quinzler, G. Umwelt: Chemie, Stuttgart: Ernst-Klett-Verlag, 1980.
- Haupt, P. Probleme des Auffassungsvermögens bei der Begriffsbildung im Chemieunterricht, Dissertation (mit separater Dokumentation), Universität Oldenburg, 1980.
- Heisenberg, W. Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaften, 7. Aufl., Stuttgart: S.Hirzel Verlag, 1947.
- Hiller, G.G. Konstruktive Didaktik, Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwan, 1973.
- Holleman-Wiberg. Lehrbuch der Anorganische Chemie, Berlin, New York: W.de Gruyter Verlag, 91-100, 1985.
- Jochems, W. Methodologische aspecten van protocolanalyse, Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen, 4, 1-18, 1986.
- Jong, R.A.de. Begripsontwikkeling als leidraad bij onderwijzen, Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen, 4, 53-60, 1986.
- Kircher, E. & Heinrich, P. Eine empirische Untersuchung über Atomvorstellungen bei Hauptschülern im 8. und 9. Schuljahr, Chimica Didactica, 10, 199-222, 1984.
- Kircher, E. Vorstellungen über Atome, Naturwissenschaften im Unterricht, 34, 132-135, 1986.
- Lavoisier, A.L. Untersuchung über das Wasser, Reprinta Historica Didactica, Bd.3, Bad Salzdetfurth: Verlag B.Franzbecker, 1983.
- Minszen, M. & Buck, P. Das alles ist Wasser? oder: Das also ist Wasser!, Chimica Didactica, 12, 113-136, 1986.
- Morgenstern, W. & Christen, H.R. Chemie - Stoffe und Strukturen, Sekundarstufe I, Frankfurt/. u. Aarau: Diesterweg und Sauerländer, 1981.
- Nuffield. Chemie: Unterrichtsmodelle Grundkurs, Stufe 2, Teil I, Heidelberg: Quelle & Meyer Verlag, 1978.
- Pfundt, H. Das Atom - Letztes Teilungsstück oder erster Aufbaustein?, Chimica Didactica, 7, 75-94, 1981.
- Reiding, J. & Franken, P. Chemie en Maatschappij. Maar hoe?, NVON-maandblad. 9. 5. 12-14, 1984.
- Schlöpke, W.I. Zerlegungsdenken und Elementbegriff, Chimica Didactica, 11. 3-26, 1985.
- Sprang, O.v. & Voorde, H.H.ten. Stoffmenge, Anzahl und Erfahrung, Chimica Didactica, 12, 149-165, 1986.

- Voorde, H.H.ten. Verwoorden en Verstaan, proefschrift, Universiteit van Amsterdam Den Haag: Staatsuitgeverij, 1977.
- Voorde, H.H.ten. Empirische didaktiek (I) - Een kloof van onverstaaenbaarheid, Faraday, 47, 73-90, 1978.
- Voorde, H.H.ten. Empirische Didaktiek (VII) - Van beschrijvend naar theoretisch niveau in scheikunde-onderwijs. In: Niveauperhogend scheikunde-onderwijs ten behoeve van vwo, Universiteit nvan Amsterdam: Discoreeks nr.3.
- Voorde, H.H.ten. Die Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Ein Problem des Unterrichtens, Chimica Didactic, 9, 138-175, 1983.
- Voorde, H.H.ten. Der chemische Elementbegriff als Ergebnis eines Wechsels in der Betrachtungsweise, Chimica Didactica, 10, 99-116, 1984.
- Vos, W.de. Corpusculum Delicti, proefschrift, Universiteit te Utrecht, 1985.
- Weninger, J. & Pfundt, H. Stoffe und Stoffumbildungen, teil I, Stuttgart: Ernst Klett Verlag, 1979.
- Weninger, J. Das Denken in Kontinuum und Diskontinuum, Der Math.und Natw. Unterricht, 35, 193-200 en 268-273, 1982.