

## Kinderen over materie:

### een literatuurbeschuwing vanuit natuurkunde-didactisch perspectief

M.J. Vollebregt en P.L. Lijnse

Centrum voor Didactiek der Wiskunde en Natuurwetenschappen  
Rijksuniversiteit Utrecht

#### Summary

*This paper gives an overview of research that has been done with respect to children's ideas about matter. It compares, discusses and integrates the respective research results, in view of their implications for the teaching of physics.*

#### 1. Inleiding

Er wordt de laatste jaren veel onderzoek gedaan naar denkbeelden van kinderen over allerlei onderwerpen die relevant zijn voor het natuurwetenschappelijk onderwijs. In een constructivistische opvatting over leren betekent dit dat in het onderwijs ook, op een of andere manier, van deze denkbeelden zal moeten worden uitgegaan, wil het onderwijsleerproces succesvol kunnen verlopen. Deze denkbeelden van leerlingen zijn in veel gevallen heel verrassend, en de consequenties voor het onderwijs kunnen dan ook heel ingrijpend zijn. Dat geldt niet alleen voor geaccepteerd moeilijke begrippen als kracht of energie, maar ook voor ogenschijnlijk vanzelfsprekende zaken als bijvoorbeeld het onderwijs over "materie". In het secundair natuurkundeonderwijs wordt in de onderbouw als een van de eerste onderwerpen, aandacht besteed aan het feit dat materie voorkomt in drie aggregatietoestanden: vast, vloeibaar en gasvormig, in het natuurkundeonderwijs gewoonlijk fasen genoemd, met daartussen faseovergangen. De bestudering van deze "macroscopische" verschijnselen en hun beschrijving in termen van toestanden en processen wordt in leerboeken, naar het lijkt, als weinig problematisch gezien. Veelal wordt er onmiddellijk een "verklaring" op deeltjesniveau aan toegevoegd.

Als onderdeel van een onderzoek naar leer- en onderwijsproblemen met de gebruikelijke behandeling van een deeltjesmodel in de eerste drie jaren van het secundair natuurkundeonderwijs, leek het ons wenselijk om ook aandacht te schenken aan de vraag in hoeverre problemen op deeltjesniveau niet mede hun oorsprong vinden in het denken van leerlingen over materie op macroscopisch niveau (Vollebregt, 1991). Daarom hebben we een literatuurinventarisatie gemaakt van onderzoek naar denkbeelden van leerlingen over "eenvoudige" natuurkundige zaken als fasen en faseovergangen. Dit artikel is een verslag van deze inven-

tarisatie. Ons uitgangspunt is daarbij niet geweest volledigheid ten aanzien van alle verschenen literatuur, maar wel om te pogen een zo consistent mogelijk beeld te schetsen, waardoor generalisatie mogelijk wordt.

Bij de literatuuranalyse is vooral gekeken naar de manier waarop kinderen, voordat ze daarover onderwijs gekregen hebben, fasen beschrijven, d.w.z. of, en op grond waarvan, ze objecten, materialen of stoffen classificeren als vast, vloeibaar of gasvormig. Net als in de betreffende onderzoeken houdt dit de keuze van een fysisch classificeringskader in. Tevens is geïnventariseerd hoe kinderen aankijken tegen faseovergangen en in hoeverre er daarbij voor hen iets behouden blijft.

## 2. Intuïtieve ideeën over materie

Hoe stellen (jonge) kinderen zich materie voor? Hoe beschrijven zij stoffen in een bepaalde aggregatietoestand en welke eigenschappen kennen ze daaraan toe?

Iedereen is in haar of zijn leven altijd omgeven door materie, door objecten die gemaakt zijn van verschillende soorten "spul" (Millar, 1990). Het is onvermijdelijk dat ieder dus ook haar of zijn eigen ideeën ontwikkelt over wat dat "spul" eigenlijk is. Deze ideeën zullen echter ongetwijfeld ook veel gemeenschappelijks hebben. Hayes (1979) heeft bijvoorbeeld geprobeerd zo'n gemeenschappelijke basis te schetsen van wat hij een "naive theory of matter" noemt. Hij zegt onder andere het volgende (blz.260):

"There are different kinds of *stuff*: iron, water, wood, meat, stone, sand, etc. And these exist in different kinds of *physical state*: solid, liquid, powder, paste, jelly, slime, paper-like, etc. Each kind of stuff has a *usual* state: iron is solid, water is liquid, sand is powder, etc., but this can sometimes be changed. For example, many stuffs will melt if you make them hot enough (which for some things is *very very* hot, i.e. *in practice* they can't be melted, e.g. sand; and others will *burn* when heated, e.g. wood or flour). Any liquid will freeze if you make it cold enough. Any solid *can* be powdered if you pulverise it with enough effort and determination, etc.. There is no obvious standard way of changing a powder into a solid (but wetting it to get a paste, then drying the paste carefully, sometimes works). Some substances, left to themselves, *decompose*, i.e. change slowly into some other (useless) substance; or *mature*, i.e. change slowly into some other (useful) substance. Rusting and wet rot are examples of decomposition, cheese-making an example of maturation....

Hoewel Hayes zich in zijn artikel niet baseert op onderzoek naar leerlingdenkbeelden, is het zeer wel mogelijk dat de gegeven beschrijving ook een goede karakterisering is van ideeën die leerlingen meebrengen in de klas. In het dagelijks leven wordt immers niet gesproken over stoffen op zich, die in verschillende aggregatietoestanden kunnen voorkomen. In de leefwereld gaat het om dingen, om objecten met een doel, die van meerdere materialen gemaakt kunnen zijn

en die soms in verschillende verschijningsvormen kunnen voorkomen. Millar (1990) merkt op dat de "naive theory of matter" van Hayes algemene patronen in gedrag aanduidt, maar daarvoor geen verklaring verschaft. "I suggest this is an accurate depiction of lay views of matter; we take the properties of the matter we encounter for granted, as given features of our everyday world. Our concern is to be able to predict the behaviour of these types of matter sufficiently well for us to use them to achieve various purposes. We construct for ourselves a technological theory, rather than a scientific one." Dit sluit nauw aan bij wat Ten Voorde (1990) schrijft over het spreken en handelen in wat hij noemt het contextgebied "gebruik en verbruik", namelijk (blz. 161): "Leerlingen zijn gewoon om in het contextgebied 'gebruik en verbruik' materialen voor een bepaald doel te gebruiken. Die materialen bestaan immers voor zo'n doel. Ook u zult niet een tafel uit uw kamer in de open haard zetten en aansteken. Misschien hebt u wel eens een oude tafel stukgeslagen, maar dan met het doel om hem te verstoken. U maakt spaanders of houtblokken, al naargelang u ze nodig hebt als aanmaak- of brandhout." Hij maakt onderscheid tussen "gemaakt van", "gemaakt uit" en "gemaakt voor".

In het bovenstaande is geschreven over "lay views", leerlingdenkbeelden en leefwereld. Is dat zonder meer hetzelfde? Daar moeten we voorzichtig in zijn. Inderdaad herkennen we in het bovenstaande een aantal "gegeneraliseerde vanzelfsprekendheden van de leefwereld" (daarmee het sociale karakter van die leefwereld bevestigend), die Redeker (1982) omschrijft als "Begriffe aus Erfahrung", evenals de werkzaamheid van het pragmatische motief. Maar over wiens leefwereld gaat het? Over die van (volwassen) leken, of over die van leerlingen? En als we de laatste bedoelen, is daar dan ook nog een ontwikkeling in te bespeuren?

Zo rept Hayes in het bovenstaande alleen over "solids" en "liquids". Millar (1990) concludeert hieruit dat "another aspect of the naive theory of matter is that "gases are not *real* stuff at all" ". Dit gaat ons echter te ver. Het lijkt ons onwaarschijnlijk dat dit laatste een goede karakterisering is van wat (volwassen) leken denken over gassen, alhoewel het zeer wel zo kan zijn dat dit idee voor jonge kinderen wel geldt. We zullen hiernaar dus, met behulp van een aantal onderzoeken, preciezer moeten kijken.

Zo zijn kinderen, ook vòór het onderwijs, zeker in staat een aantal eigenschappen van materialen/stoffen te onderscheiden en te beschrijven. Hibbard en Novak (1975) vonden dat kinderen de waarneembare "bulk properties" van materie gebruiken bij het maken van onderscheid tussen de eigenschappen van vaste stoffen, vloeistoffen en lucht. Veel van deze waarneembare "bulk properties" bleken, vanuit fysisch standpunt, direct gerelateerd aan verschillen in dichtheid en doordringbaarheid van de drie aggregatietoestanden waarin materie voorkomt. Andere voorbeelden van deze beschrijvingen zijn die in termen van

nat-droog, koud-warm en zichtbaar-onzichtbaar. Uit ander onderzoek (Stavy, 1990) komt inderdaad naar voren dat vooral jonge kinderen, beneden tien jaar, alleen concrete vaste objecten beschouwen als materie. Deze smalle conceptie blijkt zich echter te verbreden bij hogere leeftijd, als eerst vloeistoffen en later ook gassen als materie beschouwd gaan worden. We zullen daarom in het nu volgende eerst bespreken wat er bekend is over de wijze waarop kinderen vaste stoffen en vloeistoffen beschrijven en daarna ingaan op hun ideeën over gassen.

### 3. Vaste stoffen en vloeistoffen

Stavy en Stachel (1985) hebben onderzocht welke kennis Israëliische kinderen van vijf tot twaalf jaar hebben over de begrippen "vast" en "vloeibaar". In hun rapportage vergelijken ze hun resultaten met die van Dickenson (1982). Ze vatten eerst zijn bevindingen als volgt samen.

"Kinderen vanaf vier jaar bleken in staat te zijn een onderscheid te maken tussen vaste stoffen en vloeistoffen, hoewel zij daar niet nauwkeurig in waren. Dikke vloeistoffen werden als vast beschouwd en zachte elastische vaste stoffen als vloeibaar. Ze hadden bovendien moeite om hun classificatie uit te leggen, en waren niet in staat "vast" en "vloeibaar" te definiëren.

Kinderen van zes tot negen jaar beschouwden dunne vloeistoffen als vloeibaar, stijve vaste stoffen als vast en plaatsten alle overige materialen in een middengroep. Metaal en water fungeerden voor hen als prototype waarnaar stoffen geclassificeerd werden. Van de twaalfjarige kinderen kon slechts 30% correct classificeren, uitleg geven over hun classificatie en de termen "vast" en "vloeibaar" verbaal omschrijven."

De groep die Stavy en Stachel (1985) hebben onderzocht bestond uit 200 kinderen. De taken die ze hen in een interviewsituatie voorlegden betroffen onder andere het definiëren van de begrippen "vast" en "vloeibaar" en het classificeren van stoffen als zodanig. Hieronder zijn hun resultaten samengevat.

"Kinderen herkenden overeenkomsten tussen vloeistoffen op vroegere leeftijd en in grotere mate dan tussen vaste stoffen. Als eigenschappen van vloeistoffen noemden ze "kan geschonken worden" en "is waterig". Jongere kinderen gaven ook aan dat vloeistoffen "nat" zijn, "niet hard", "drinkbaar", "druppelend", etc. Oudere kinderen legden er de nadruk op "dat je een vloeistof niet in de hand kan houden", of "dat je met je hand door een vloeistof heen kunt gaan". Aan vaste stoffen werden met name de eigenschappen "hard" of "niet vloeibaar" toegekend. Op jongere leeftijd werden daar eigenschappen als "zwaar", "maakt geluid", "dik", "sterk", "van hout" aan toegevoegd. Kinderen in de middelste leeftijdsgroep spraken over "bewegingsloos" of "levenloos" en de oudere kinderen over "kan vastgehouden of aangeraakt worden", "vaste vorm".

Als spontane voorbeelden van vloeistoffen werden hoofdzakelijk water, dranken en eetbare vloeistoffen genoemd. Wat betreft vaste stoffen werden meestal objecten genoemd, die vaak in de interviewruimte aanwezig waren. Enkele (vooral oudere) kinderen noemden materialen als metaal, glas en plastic. Naarmate kinderen ouder

waren noemden ze als voorbeelden van vaste stoffen vaker materialen en minder vaak objecten.

Het classificeren van dunne vloeistoffen bleek gemakkelijker dan van dikke. Vooral jonge kinderen noemden dikke vloeistoffen vast. In elke leeftijdsgroep waren er kinderen die dikke vloeistoffen in een tussengroep (niet vloeibaar en niet vast) plaatsten. Het classificeren als vaste stof bleek voor harde stoffen het gemakkelijkst. Minder harde stoffen werden vaak in een tussengroep geplaatst. Het classificeren van poeders bleek op elke leeftijd problematisch. Het beschouwen daarvan als vloeistoffen nam af met hogere leeftijd ten gunste van plaatsing in de tussengroep."

Evenals door Dickenson (1982) wordt door deze onderzoekers gerapporteerd dat kinderen bij het classificeren van stoffen geen goed onderscheid kunnen maken tussen het materiaal en de aggregatietoestand. Daarnaast wordt ook in dit onderzoek naar voren gebracht dat water voor kinderen fungeert als een prototype van een vloeistof, maar in tegenstelling tot de bevindingen van Dickenson werd voor vaste stoffen geen vergelijkbaar voorbeeld gevonden. Ze geven wel aan dat "it might be that a complex of characteristics or properties help the child relate certain materials to the group of solids". Op grond hiervan komen ze tot een beschrijving van het intuïtieve begrip dat kinderen hebben van vaste stoffen. Dit zijn dan vooral harde materialen van onveranderlijke vorm. Hoe gemakkelijker de vorm te veranderen is hoe minder waarschijnlijk het materiaal als een vaste stof geclassificeerd wordt. In hun beoordeling laten kinderen zich leiden door uiterlijk en gedrag, niet door het type materiaal. Het intuïtieve begrip dat kinderen van vloeistoffen hebben komt volgens de onderzoekers neer op de notie dat vloeistoffen schenkbaar zijn en gemaakt van water.

#### 4. Gassen

Seré (1985, 1986) heeft vooral onderzoek gedaan naar intuïtieve denkbeelden van kinderen ten aanzien van stoffen in de gasfase. Zo beschrijft ze onder andere beelden die kinderen associëren met lucht. Ze verwijst hierbij naar het werk van Piaget (1929) dat ze als volgt samenvat.

"Kinderen spreken spontaan over beweging van lucht maar weten niet of lucht de bladeren van de bomen doet bewegen of andersom. Ze betrekken lucht in alles wat immaterieel of onverklaarbaar voor hen lijkt. Sommigen associëren lucht met warmte, anderen met koude. Voor sommigen is lucht droog, voor anderen nat en vol stoom. Voor de meesten van hen is lucht een middel voor warmtetransport."

Seré (1985) schrijft dat lucht voor deze kinderen iets is dat bestaat, maar niet zichtbaar is of aangeraakt kan worden, iets dat circuleert, naar binnen en naar buiten kan gaan waar materie niet kan komen, iets dat dingen laat gebeuren zonder zelf waargenomen te worden. In een later artikel (Seré, 1986) geeft ze aan dat kinderen al vele ervaringen hebben met lucht en andere gassen. Ze

leven in lucht, voelen wind en tocht, ademen, gebruiken fietspompen, ballen, ventilatoren, gasovens, spuitbussen etc. Ze geeft daarbij wel aan dat de kennis van kinderen over gassen beduidend minder is dan die over lucht.

Zij beschrijft resultaten van onderzoek bij Franse kinderen van elf jaar naar hun ideeën over de gasfase voordat ze daar les over hebben gehad. Hiervoor hebben 600 kinderen een vragenlijst ingevuld en 20 kinderen deelgenomen aan een individueel interview.

Leerlingen blijken bij vragen over stilstaande lucht in hun antwoorden steeds te refereren naar bewegende lucht. Zo denken ze bijvoorbeeld dat, om een open fles te vullen met lucht, het nodig is om deze in een luchtstroom (wind) te houden. Of ze denken dat ze lucht kunnen "maken" door hun handen of een zuiger te bewegen. Deze beweging wordt door jonge kinderen ook vaak geassocieerd met levende dingen. Lucht "is active only if it is disturbed, or annoyed" en "gets tired of pushing, and stops pushing". Deze beweringen reflecteren een elementaire, animistische vorm van redeneren, die volgens haar verdwijnt bij oudere kinderen. Wanneer die termen als "air tries to..., wants to..." gebruiken, lijkt dit slechts een manier van spreken die ook wel door volwassenen gebruikt wordt en geen animistisch beeld van lucht reflecteert.

Leerlingen hebben ook alternatieve ideeën over de verdeling van lucht in de ruimte. Op sommige plaatsen is de lucht bijvoorbeeld dikker dan ergens anders, of kan er beter circuleren. Terwijl verwarmde lucht opstijgt of verandert in een gas, wordt koude lucht niet anders gezien dan lucht bij kamertemperatuur.

Hoewel voor veel kinderen bewegende lucht een realiteit is, ligt dit voor stilstaande lucht veel moeilijker. Het is voor hen niet duidelijk dat lucht of een gas massa heeft. Sommigen denken dat "hoe meer lucht er is, hoe lichter het is". Objecten drijven bijvoorbeeld beter als ze vol lucht zitten, een voetbal stuitert beter vol lucht. Het realiteitsprobleem is echter bij gekleurd gas duidelijk minder groot.

Een ander belangrijk aspect dat Seré heeft onderzocht is de wijze waarop krachten uitgeoefend door gassen, geïnterpreteerd worden door kinderen. Haar bevinding is dat voor veel kinderen gassen alleen krachten uitoefenen als ze in beweging zijn gezet. Er is alleen sprake van een kracht als de lucht zelf beweegt of een object in beweging zet. Voor veel kinderen is er bovendien een externe oorzaak nodig om gassen een kracht uit te laten oefenen, bijvoorbeeld wanneer ze zelf een kracht ondervinden of verwarmd worden. Tevens denken veel kinderen dat gassen slechts in één richting krachten uitoefenen, namelijk in de richting van de beweging. Bij verwarming is dit meestal in verticale richting.

Lucht bij atmosferische druk oefent volgens veel kinderen geen kracht uit. Bij lagere druk worden krachten nog minder vaak herkend. De reden hiervoor lijkt te zijn dat de krachten en hun "effect" een verschillende richting hebben.

Ze kennen dan ook een zuigende kracht aan de lucht toe. Wanneer de druk hoger is dan de atmosferische druk zien leerlingen vaak dat de lucht werkt, duwt of drukt op een object. Ze lijken deze effecten echter alleen te herkennen tijdens de beweging. Zodra de evenwichtstoestand bereikt is, is er geen actie meer.

Stavy (1988) rapporteert resultaten van een onderzoek naar kennis van leerlingen over gassen voor en na instructie. Het betreft een interviewstudie met ongeveer 120 kinderen van negen tot vijftien jaar oud. Ze concludeert, in tegenstelling tot Seré, dat kinderen niet spontaan een *algemene* notie van gas ontwikkelen, omdat ze in hun dagelijks leven maar tot een beperkt aantal gassen toegang hebben. Hun ideeën bleken niet consistent en konden verschillen van taak tot taak. Vooral jonge kinderen werden sterk beïnvloed door, vanuit fysisch standpunt, niet relevante perceptieve elementen van een taak.

## 5. Faseveranderingen

Voordat kinderen onderwijs krijgen over faseveranderingen hebben ze in hun dagelijks leven al ervaringen hiermee opgedaan, in het bijzonder met overgangen tussen ijs, water en waterdamp. De manier waarop deze veranderingen beschouwd worden blijkt, zo zal in het nu volgende duidelijk worden, met name af te hangen van wat kinderen wel en niet onder materie verstaan en in hoeverre zij dit als behouden zien.

Osborne en Cosgrove (1983) hebben in een interviewstudie met 43 kinderen van acht tot zeventien jaar oud, onderzocht hoe bekende verschijnselen met betrekking tot water (verdampen, condenseren etc.) door hen geïnterpreteerd werden. We zullen hier alleen de resultaten bespreken van kinderen die nog geen les hadden gehad over een deeltjestheorie, of die deze kennis niet gebruikten.

Als eerste hebben ze onderzocht hoe kinderen denken over koken. De vraag die daarbij gesteld werd, luidde: "Waaruit bestaan de bellen?" Behalve de antwoorden "warmte" en "stoom" werd er vooral door jonge kinderen ook vaak "lucht" geantwoord. Die lucht wordt geproduceerd in het water, of er van boven het oppervlak in getrokken.

Bij vragen over stoom bleek dat veel kinderen dit zien als een soort water en vinden dat als de stoom niet meer zichtbaar is, dit veranderd is in lucht. Condensatie van stoom aan een schoteltje werd door enkele jonge kinderen beschreven als zweterig ("..It's hot and it's just like you're running and you sweat in that it's hot"). Veel kinderen gaven aan dat de stoom verandert in water, maar dit hoefde niet noodzakelijk hetzelfde als het oorspronkelijke water te zijn (sommigen achtten het bijvoorbeeld niet drinkbaar).

Bij verdamping van een laagje water op een schoteltje dachten enkele jonge kinderen dat het water in het schoteltje was gegaan. Andere jonge kinderen zeiden dat het gewoon was opgedroogd (verdwenen) of veranderd in lucht.

Wat oudere kinderen gaven aan dat het water in de lucht was opgegaan en terug zou komen als regen.

Bij het condenseren van water aan de buitenkant van een potje met ijsklontjes werd de vraag gesteld: "Waar komt het water vandaan?" Sommige kinderen dachten dat het water door het glas heen naar buiten kwam, anderen dat de koude door het glas heen ging en aan de buitenkant water produceerde. Oudere kinderen zeiden dat het water in de lucht "sticks to the glass".

Het smelten van ijs beschreven veel leerlingen als "het smelt gewoon en verandert in water". Evenals bij het condenseren van stoom dachten sommigen dat dit water niet drinkbaar was. Enkele kinderen legden een relatie met de temperatuur (boven het smeltpunt)."

Bar (1989) verwijst in haar artikel over de ideeën die kinderen hebben over de watercyclus, naar nog niet gepubliceerde resultaten van eerder onderzoek betreffende faseveranderingen. Haar voorgaande werk toonde aan dat het begrijpen van fysische ideeën betreffende faseveranderingen afhankelijk is van de ontwikkeling in het vermogen om water en lucht als behouden te zien. Aan de hand daarvan beschrijft ze vier standpunten van kinderen ten aanzien van het begrip "verdamping" en relateert die tevens aan een bepaalde leeftijdsgroep, waarbij de gegeven leeftijden "peak ages" zijn.

1. *Het water verdwijnt* (vijf en zes jaar oud). Dit standpunt is karakteristiek voor de jongste en "nonconserving children". Het kind in deze fase zegt dat het water "got lost, disappeared". Sommige kinderen gebruiken het woord verdampen maar interpreteren dit als verdwijnen.
2. *Het water dringt in de vloer of in andere vaste voorwerpen* (zeven en acht jaar oud). Dit idee ontstaat wanneer kinderen zich realiseren dat de hoeveelheid water behouden blijft. Wanneer hen gevraagd wordt hoe het water de vloer in kan gaan, refereren ze naar ruimtes tussen de vloertegels of naar het zand onder de vloer of naar een gat in de vloer.
3. *Het water verdamppt in een of andere "container"* (negen en tien jaar oud). Dit is gerelateerd aan het accepteren van het idee dat lucht behouden blijft, dus dat het permanent bestaat en niet gecreëerd wordt door beweging. Het zich realiseren dat onzichtbare lucht bestaat helpt bij het accepteren dat onzichtbare waterdamp bestaat. De waterdamp bevindt zich in de kamer vlakbij het plafond, in de lucht, in de wolken of in de zon. "The clouds are not made of vapour" maar "the vapour is within the clouds".
4. *Het water verdamppt, het wordt verspreid in de lucht*. Slechts enkele kinderen gaven dit antwoord. Deze uitleg ligt dichtbij de fysische feiten zoals die door volwassenen gezien worden. Het water verandert van fase en wordt onzichtbare damp.

Wat betreft koken werd gevonden dat het begrip van dit proces vooruit lijkt te lopen op dat van verdamping. Veel van de kinderen in de eerste twee hierboven



beschreven fasen (dat wil zeggen tussen de vijf en acht jaar oud) zeiden dat damp werd verkregen uit kokend water, dat de hoeveelheid water tijdens dit proces verminderde en herkenden de damp als bestaand uit water. Verder concludeert ze uit de bevindingen dat het begrip dat kinderen van condensatie ontwikkelden parallel verloopt aan dat van verdamping.

Deze categorieën van Bar komen kwalitatief goed overeen met de resultaten van Russell, Harlen en Watt (1989). Deze auteurs hebben in Engeland ongeveer 60 kinderen van vijf tot elf jaar oud geïnterviewd voor en nadat ze lessen over verdamping hadden gehad.

Stavy (1990) heeft onderzoek gedaan naar de concepties van kinderen met betrekking tot faseveranderingen van vloeistof of vaste stof naar gas. Hiervoor heeft ze ongeveer 120 leerlingen van negen tot vijftien jaar oud individueel geïnterviewd, waarbij ze vragen moesten beantwoorden over de verdamping van aceton en de sublimatie van jodium. Ze heeft deze antwoorden verdeeld in categorieën al naar gelang de materie en/of eigenschappen als geur en oplosbaarheid en in het bijzonder het gewicht, wel of niet als behouden werden gezien. De bijzondere aandacht voor gewicht als eigenschap wordt, fysisch gezien, gerechtvaardigd door de directe koppeling van gewicht aan hoeveelheid materie. In haar analyse heeft zij tevens getracht een leeftijdsgebonden ontwikkeling in leerlingredeneringen op te sporen. Als algemene trend komt hieruit naar voren dat voor jonge kinderen bij faseovergangen noch materie, noch de genoemde eigenschappen, waaronder in het bijzonder het gewicht, als behouden worden gezien. Met toenemende leeftijd worden eigenschappen als geur en oplosbaarheid eerder dan de materie zelf als behouden gezien. Behoud van gewicht komt het laatst tot ontwikkeling. Alhoewel deze trend algemeen lijkt, zijn de precieze leeftijden en uitkomsten natuurlijk wel afhankelijk van de precieze taak die aan de leerlingen werd voorgelegd.

## 6. Interpretatiekaders

In het bovenstaande gaat het om een veelheid aan informatie die weliswaar niet tegenstrijdig lijkt, maar die wel in steeds andere contexten verkregen en op net weer iets andere manieren geïnterpreteerd is. Antwoorden die in een bepaalde context worden gegeven laten zich niet zomaar vergelijken met antwoorden in andere situaties. Russell e.a. (1989) schrijven: "However, it is precisely the impact of different content, contexts and presentation modes that makes comparability problematic, especially at the level of comparisons of frequencies of occurrence of certain ideas". Toch lijkt het ons zinvol in het nu volgende een poging te doen de verschillende resultaten en interpretatiekaders te vergelijken en te combineren, om tot een algemene(re) beschrijving (level IV, Andersson, 1990) te komen van het intuïtieve denken over materie en faseveranderingen.

Andersson (1990) heeft op basis van eigen onderzoek en dat van anderen vijf categorieën ontworpen, aan de hand waarvan hij heeft getracht zijn resultaten en die van enkele hierboven reeds genoemde onderzoekers samenvattend te interpreteren.

### 1. *Verdwijning*

In deze categorie gaat het om het denkbeeld dat een stof geheel kan verdwijnen, ophouden te bestaan, zonder dat daar een andere voor in de plaats komt. Materie wordt dan niet als behouden gezien. Een voorbeeld dat in deze categorie thuishoort is het idee dat bij verdamping de vloeistof helemaal verdwenen is.

### 2. *Verplaatsing*

In deze categorie wordt materie wel als behouden gezien. Wanneer een stof verdwenen lijkt, kan dit alleen verklaard worden door een verplaatsing buiten het gezichtsveld. Een voorbeeld hiervan is het idee dat bij verdamping de vloeistof in het schoteltje of in de vloer getrokken is. Voor een kind dat zo'n antwoord geeft lijkt vast te staan dat de vloeistof behouden blijft. Een ander voorbeeld dat in deze groep thuishoort is het antwoord van kinderen in de studie van Osborne en Cosgrove (1983), dat de bellen in kokend water gevuld zijn met lucht die van boven het wateroppervlak naar binnen getrokken wordt.

### 3. *Modificatie*

In deze categorie gaat het om de verandering van eigenschappen of van de fase van een stof, terwijl het "wezenlijke" van de stof behouden blijft. Wanneer kinderen bijvoorbeeld begrijpen dat lucht permanent bestaat verklaren ze het verdwijnen van water bij verdamping door te zeggen dat het verandert in waterdamp, dus in kleine onzichtbare deeltjes.

### 4. *Transmutatie*

Ook in deze categorie blijft de materie behouden, maar kan een stof geheel transformeren in een andere stof. In de studie van Osborne en Cosgrove werd bijvoorbeeld door redelijk wat kinderen gezegd dat de bellen in het kokende water uit lucht bestonden. De meest algemene verklaring hiervoor was dat er water was veranderd in lucht. Het woord "lucht" zou hier echter ook kunnen verwijzen naar een ongedifferentieerd idee van iets gasachtigs. Een ander voorbeeld in hetzelfde onderzoek is dat kinderen bij water dat ze eerst hebben zien verdampen of bevriezen, vervolgens bij het condenseren van de waterdamp of het smelten van het ijs denken dat het water dat ontstaat niet meer drinkbaar is.

### 5. *Chemische interactie*

In deze categorie blijft materie wederom behouden. Het verschil met bovenstaande categorieën is dat een verandering hier verklaard wordt door aan te nemen dat meerdere stoffen samen een nieuwe stof kunnen vormen of dat een stof uiteen kan vallen in meerdere stoffen.

Bar (1989) gebruikt bij de interpretatie van haar vier reeds beschreven standpunten van kinderen aangaande het begrip "verdamping", in feite het volgende nivauschema.

1. Noch water noch lucht is behouden.
2. Water is behouden, maar lucht niet.
3. Zowel water als lucht is behouden.

Het eerste standpunt, dat het water verdwijnt, is verbonden met het eerste niveau en lijkt overeen te komen met de categorie "verdwijning" van Andersson. Zo heeft het tweede standpunt, dat het water ergens in dringt, betrekking op het tweede niveau en men zou het kunnen vergelijken met Andersson's categorie "verplaatsing". Het derde en het vierde standpunt tenslotte, waarbij het water verdampt, hangen samen met het laatste niveau en zouden in de categorie "modificatie" kunnen vallen.

Ook de resultaten van Russell e.a. (1989) zijn goed inpasbaar in Anderssons categorieën.

Stavy gebruikt als interpretatiekader het werk van Piaget. Zij gaat uit van het mentale beeld betreffende de eigenschappen van materie, dat kinderen volgens Piaget en Inhelder (1974) vormen in de pre-operationele en vroeg-concreet-operationele fase.

- a. Materie heeft geen permanent aspect. Wanneer materie uit het zicht verdwijnt (bijvoorbeeld wanneer suiker oplost in water) houdt het op te bestaan.
- b. Materie heeft een stoffelijke kern waaraan diverse willekeurige eigenschappen zijn verbonden die onafhankelijk bestaan. Materie kan "verdwijnen", terwijl haar eigenschappen (zoals zoetheid) geheel onafhankelijk kunnen blijven voortbestaan.
- c. Gewicht is geen intrinsieke eigenschap van materie. Het bestaan van gewichtsloze materie kan geaccepteerd worden.

In dit kader wordt er dus rekening mee gehouden dat bepaalde eigenschappen van materie, en in het bijzonder het gewicht, volgens diverse kinderen onafhankelijk functioneren van de materie zelf. Dit lijkt een nadere aanvulling op Anderssons categorieën.

### 7. *Samenhang*

De samenhang tussen de verschillende kaders willen we verder verduidelijken in een schema (fig. 1). Het belangrijkste begrip hierin is het "behoud van materie".

Wanneer kinderen materie nog niet als behouden zien, lijken zij steeds over een concept van materie te beschikken als zijnde vast of vloeibaar (ook al kunnen

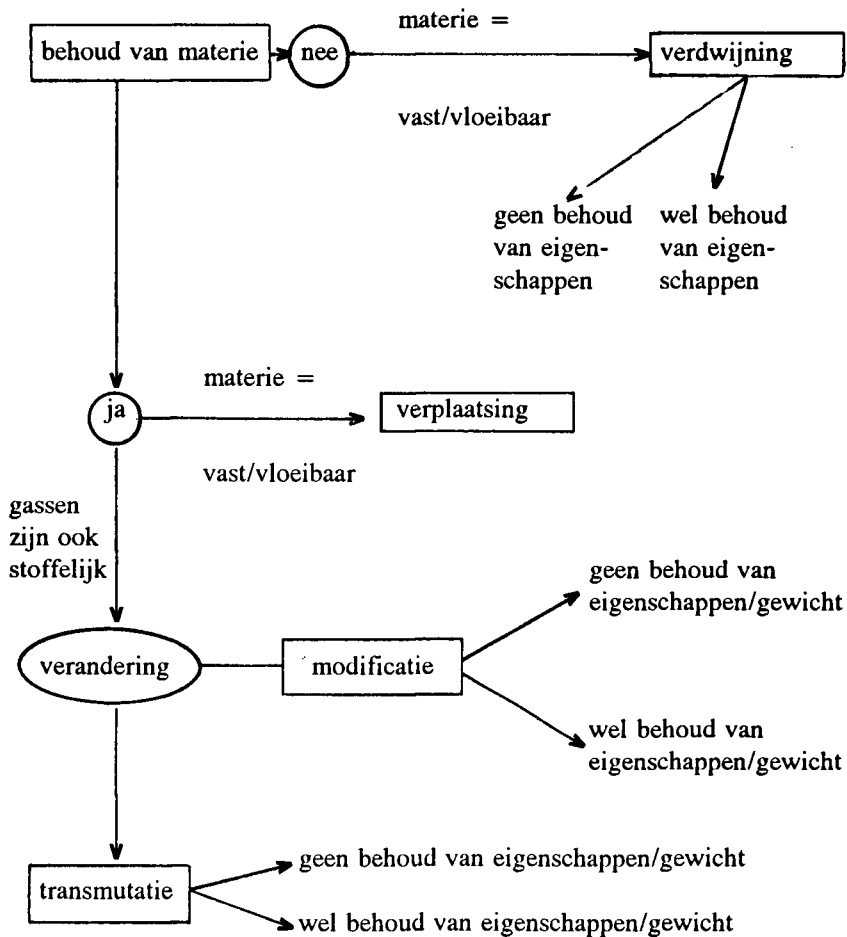


Fig.1. Samenvattende ontwikkeling in het denken van kinderen over materie

deze categorieën nog niet scherp gebruikt worden, vanwege allerlei "mengvormen"). Deze materie kan verdwijnen al dan niet onder achterlating van één of meerdere eigenschappen zoals geur, kleur of smaak (Stavy, 1990). Ook wanneer kinderen al wel in staat zijn om te bevatten dat materie behouden blijft, kunnen zij deze nog steeds beschouwen als vast/vloeibaar. Indien materie dan

verdwijnt houdt deze niet echt op te bestaan, maar moet door een verplaatsing aan het gezichtsveld onttrokken zijn.

Op latere leeftijd lijken kinderen in te gaan zien dat ook gassen stoffelijk zijn. In eerste instantie gebeurt dit alleen wanneer daar een duidelijk bewijs voor is, bijvoorbeeld als een gas beweegt of gekleurd is (Seré, 1986; Stavy, 1990). Zodra het bewijs verdwijnt houdt ook de materie op te bestaan. Driver (1985) noemt dit een "perceptually dominated way of thinking". Om het beeld te construeren dat iets er nog steeds is, zelfs als het niet waargenomen kan worden, moet er, zo geeft zij aan, kennis van buiten de gebeurtenis zelf bij betrokken worden. Geleidelijk aan ontwikkelen sommige leerlingen een begrip van materie als zijnde behouden en hoeven niet meer zo'n verbeeldingskracht op te brengen om dat idee in de toekomst te gebruiken.

Wanneer leerlingen ook gassen als materie beschouwen kunnen zij faseveranderingen zoals sublimeren en verdampen, interpreteren als een verandering van stof (transmutatie) of van toestand (modificatie). In beide gevallen zou een eigenschap, in het bijzonder het gewicht, behouden kunnen blijven, kunnen verminderen of zelfs verdwijnen. Het idee dat het gewicht vermindert of zelfs verdwijnt bij overgang naar de gasfase vergelijken sommige onderzoekers met de opvatting van Aristoteles, waarin materie en gewicht geheel onafhankelijk werden beschouwd (Mas, Perez & Harris, 1987; Stavy, 1990). Gewicht werd opgevat als een toevallige eigenschap van materie, resulterend uit twee tegenstelde krachten van zwaarte en lichtheid, waarbij het eerste een neergaande en het tweede een opwaartse beweging veroorzaakte. Lucht kan dan als gewichtloos worden gezien niet omdat het niet stoffelijk is, maar omdat het eerder als "staying up" wordt beschouwd dan als "pressing down on surfaces" (Driver, 1985). Het gewicht varieert voor kinderen blijkbaar tevens met de omstandigheid en wordt geassocieerd met ideeën over dichtheid, een stof in poedervorm weegt bijvoorbeeld minder dan in vaste vorm. Stavy (1990) legt dit als volgt uit. Het gewicht wordt door kinderen opgevat als een functie van een ongedefinieerde eigenschap die gerelateerd is aan de aggregatietoestand, de dichtheid en de hardheid of sterkte van het materiaal. In sommige taken wordt er gerelateerd aan de intensieve eigenschap compactheid, en in andere taken aan de extensieve eigenschap gewicht. Blijkbaar is de term "gewicht" in het cognitieve systeem van het kind zowel verbonden met "soortelijk gewicht" als met "absoluut gewicht". Zolang een kind niet in staat is deze begrippen bewust van elkaar te onderscheiden, zal het van de situatie afhangen of gewicht wel of niet als behouden wordt gezien. Daarnaast ziet Stavy, mede op grond van ander onderzoek, een verloop in het vermogen om gewicht als behouden te zien, van het simpele geval van verplaatsing via de verandering van vast naar vloeibaar tot de verandering van beide naar de gasfase.

Wat ontbreekt aan bovenstaand schema is de categorie "chemische interactie"

van Andersson. Hij bespreekt deze wel in relatie tot faseveranderingen maar hierbij gaat het reeds om deeltjesverklaringen en om een uitgebreide chemie-didactische problematiek. Beide wilden wij hier niet in de beschouwing betrekken.

## 8. Conclusie en moraal

Concluderend kunnen we het volgende stellen. Het is mogelijk in het spontane intuïtieve denken van kinderen over materie, fasen en faseveranderingen, bepaalde patronen te ontdekken. Deze patronen lijken een zekere "spontane" leeftijdsafhankelijkheid te vertonen, alhoewel natuurlijk tal van andere factoren de preciese ontwikkeling mede beïnvloeden.

Voor het onderwijs is het belangrijk te beseffen dat er een hele begripsontwikkelingsweg is af te leggen, tussen een beperkt en gebruiksbepaald materiaalbegrip, gebonden aan voorwerpen, naar een fysisch stofbegrip, waarin "dezelfde" stof in verschillende fasen kan overgaan met verschillende eigenschappen. Het laatste houdt in dat we als leerlingen een beschrijving hebben moeten leren waarin we afzien van denken in termen van voorwerpen en van "materiaal...waarvan, waarvoor of waarmee"; dat we drie "vormen" van materie hebben leren kennen die zich bij alle verschillen op grond van een bepaalde, kennelijk relevante karakteristiek laten categoriseren; dat we faseovergangen hebben leren zien als een proces waarbij eenzelfde "iets" zich in die verschillende vormen aan ons voordoet; als processen waarbij sommige eigenschappen niet maar andere wel veranderen.

Deze noodzakelijke ontwikkeling wordt in verreweg de meeste leerboeken niet onderkend. Een voorbeeld moge dit illustreren. In een leerboek voor begin tweede klas mavo/havo/vwo (Engelhard, 1981) wordt (op p.9) gezegd: "Alle lichamen (voorwerpen) bestaan uit materie, ook wel materiaal of stof genoemd. Een kenmerk van materie is, dat ze ruimte inneemt. De hoeveelheid ruimte die een voorwerp inneemt noemt men zijn volume". Vervolgens wordt op grond van een ondergedompeld bekerglas in water geconcludeerd: "Alle materie (zelfs een gas) neemt ruimte in". Op p.10 wordt dan gezegd: "Ofschoon water een vloeistof is, kan het ook een *vaste* vorm aannemen. We noemen het dan ijs. Ijs is dus een bepaalde vorm van de stof water. Tevens kan water in gasvormige toestand voorkomen. Namelijk als het gaat verdampen. Deze toestanden waarin water kan voorkomen, noemt men *fasen*. Niet alleen water, maar vrijwel alle stoffen kunnen drie fasen aannemen en wel: 1. de vaste fase, 2. de vloeibare fase, 3. de gasvormige fase."

Het zal duidelijk zijn dat deze didactiek niet past bij de beschrijving van bovenstaande leerlingideeën. In feite wordt hierin al van een algemeen stofbegrip uitgegaan, dat vervolgens wordt toegepast en gespecificeerd, in plaats van dat zo'n begrip eerst ontwikkeld wordt. Eigenlijk wordt alles wat leerlingen nog moeten leren hierin al als bekend verondersteld, en daardoor mededeelbaar.

We mogen dan ook veronderstellen dat in dergelijk onderwijs over "materie" tal van begripsproblemen een rol zullen spelen, alhoewel deze, als er geen ruimte is voor leerlingen om hun ideeën naar voren te brengen, in eerste instantie nog "onder tafel" kunnen blijven. Dit lijkt ons echter een ongewenste toestand. Voor de ontwikkeling van goed natuuronderwijs op de basisschool en voor de basisvorming natuur- en scheikunde op secundair niveau zal, ook aan deze ogenschijnlijk zo vanzelfsprekende zaken wel degelijk uitvoerig aandacht moeten worden besteed.

## 9. Literatuur

- Andersson, B. (1990) Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). In: P.L.Lijnse, P.Licht, W.de Vos & A.J.Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. Utrecht: CD-β-Press, 12-36.
- Bar, V. (1989) Children's views about the water cycle. *Science Education*, 73, 4, 481-500.
- Dickenson, K.D. (1982) *The development of children's understanding of materials*. PHD dissertatie, Harvard University.
- Driver, R. (1985) Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In: R.Driver, E.Guesne & A.Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*. Philadelphia: Open University Press, Milton Keynes, 145-169.
- Engelhard, F.J. (1981) *Elementaire Natuurkunde, deel A: Materie en kracht*. Apeldoorn: Van Walraven b.v.
- Hayes, P.J. (1979) The naive physics manifesto. In: D.Michie (Ed.), *Expert systems in the microelectronic age*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 242-270.
- Hibbard, K.M. & J.D.Novak (1975) Audio-tutorial elementary school science instruction as a method for study of children's concept learning: particulate nature of matter. *Science Education*, 59, 4, 559-570.
- Mas, C.J.F., J.H.Perez & H.H.Harris (1987) Parallels between Adolescents' conception of gases and the history of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64, 616-618.
- Millar, R. (1990) Making sense: what use are particle ideas to children? In: P.L.Lijnse, P.Licht, W.de Vos & A.J.Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. Utrecht: CD-β-Press, 283-294.
- Osborne, R.J. & M.M.Cosgrove (1983) Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 9, 825-838.
- Piaget, J. (1929) *The child's conception of the world*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Piaget, J. & B.Inhelder (1974) *The Child's construction of quantity*. London: Routledge & Kegan Paul.

- Redeker, B. (1982) *Zur Sache des Lernens - am Beispiel des Physiklernens*. Braunschweig: Westermann Verlag, nu Aachen-Hahn: Hahner Verlagsgesellschaft.
- Russell, T., W. Harlen & D. Watt (1989) Children's ideas about evaporation. *International Journal of Science Education*, 11, 566-576.
- Seré, M.G. (1985) The gaseous state. In: R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*. Philadelphia: Open University Press, Milton Keynes.
- Seré, M.G. (1986) Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8, 4, 413-425.
- Stavy, R. & D. Stachel (1985) Children's ideas about 'solid' and 'liquid'. *European Journal of Science Education*, 7, 4, 407-421.
- Stavy, R. (1988) Children's conception gas. *International Journal of Science Education*, 10, 5, 553-560.
- Stavy, R. (1990) Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 3, 247-266.
- Ten Voorde, H. (1990) Komen tot kennis van en tot inzicht in eigenschappen van materialen en stoffen. In: K. Th. Boersma, P. Licht, P. L. Lijnse & W. de Vos (Red.), *Begripsontwikkeling in het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming*. Enschede: Instituut voor Leerplanontwikkeling, 151-177.
- Vollebregt, M. (1991) *Wat begrijpen leerlingen van "de bouw van materie"?*. Afstudeerverslag, TU-Delft, RU-Utrecht.