

## Het onderwerp 'bouw der materie' in een aantal Nederlandse onderbouw natuurkunde-leergangen nader bekeken

M.J. Vollebregt en P.L. Lijnse

Vakgroep natuurkunde-didactiek, CD- $\beta$ , RUU

If, in some cataclysm, all of scientific knowledge were to be destroyed, and only one sentence passed on to the next generations of creatures, what statement would contain the most information in the fewest words? I believe it is the *atomic hypothesis* (or the *atomic fact*, or whatever you wish to call it) that *all things are made of atoms, little particles that move around in perpetual motion, attracting each other when they are a little distance apart, but repelling upon being squeezed into one another.*

Richard Feynman, 1963.

### Summary

*This paper describes our analysis of the introduction of a basic particle model in a number of Dutch physics schoolbooks at the junior secondary level. The teaching of such a particle model has become standard as the result of the past movement towards a 'structure of the discipline' type of curriculum. However, in research on childrens' learning the introduction of a particle model has been shown to be problematic. In our analysis we describe the conceptual structure and sequencing of the texts, the way in which experiments and theory are related and the attention that is given to model formation. We also characterize in general terms the instructional strategies followed. Substantial differences in the introduction of the particle model appear to be present in the textbooks. Nevertheless, we argue that for all treatments, the learning problems that have been reported in the literature are supposed to play a significant role.*

### 1. Inleiding

Eind vijftiger, begin zestiger jaren kwam, internationaal, in het natuurkunde-onderwijs de wens naar voren om de 'structuur van de discipline' nadrukkelijker als uitgangspunt te nemen voor de keuze van leerstofinhouden. In feite betekende dit dat centrale begrippen en onderwerpen steeds vroeger in het curriculum opgenomen werden. Het prototype, in ons land, voor deze benadering was de zeer succesvolle leergang "Natuurkunde op corpusculaire

grondslag" (Schweers & Van Vianen, 1955, 1969). Sindsdien vindt de behandeling van, wat misschien wel gezien wordt als het kernonderwerp bij uitstek: 'de bouw der materie' (zie citaat Feynman), over de hele breedte van het voortgezet onderwijs inclusief het lbo, al plaats in de onderbouw. Deze vervroegde behandeling van 'deeltjes' heeft in ons natuurkunde-onderwijs over het algemeen weinig weerstand opgeroepen, in het scheikunde-onderwijs heeft ze echter wel de nodige aandacht gekregen (Ten Voorde, 1977; De Vos, 1985). Dit verschil is misschien begrijpelijk als we bedenken dat in ons natuurkunde-onderwijs veelal volstaan wordt met een 'eenvoudig' deeltjesconcept, waarbij de aard van de deeltjes in feite niet belangrijk is, terwijl dit laatste in het scheikunde-onderwijs nu juist het probleem vormt.

De laatste jaren zijn echter ook voor het natuurkunde-onderwijs de mogelijke didactische problemen met de nu gebruikelijke behandeling sterker naar voren gekomen. Op grond van onderzoek elders lijkt het aannemelijk dat ook in ons land veel leerlingen na het volgen van onderwijs in de onderbouw over 'de bouw der materie' nog niet het veronderstelde niveau met betrekking tot het gebruik van deeltjesmodellen bereikt zullen hebben (Novick & Nussbaum, 1978, 1981; Brook, Briggs & Driver, 1984; Andersson, 1990).

In dit onderzoek wordt uitgebreid ingegaan op de interpretaties die leerlingen geven aan de onderwezen deeltjesmodellen. Daarbij wordt er relatief weinig gekeken naar de wijze waarop deze modellen in de leerboeken aan de orde komen. Daarom hebben wij ons juist op de analyse daarvan gericht. Dit ter voorbereiding van onderzoek naar de vraag in hoeverre leerlingen de in de onderzochte leerboeken onderwezen deeltjesmodellen (Vollebregt, 1991) ook werkelijk inzichtelijk kunnen hanteren, en of daarin didactisch interpreteerbare verschillen voorkomen.

Naar ons idee heeft deze leerboekanalyse ook een belang in zichzelf, omdat we naar een manier gezocht hebben waarmee het mogelijk is belangrijke didactische aspecten van een leergang overzichtelijk samen te vatten en zichtbaar te maken. Dit zou kunnen helpen om de in ons land vrijwel ontbrekende didactische discussie over natuurkundeleergangen te stimuleren.

## 2. Korte beschrijving van onderzoek naar leerlingideeën

### *a. Welk deeltjesmodel?*

Het deeltjesmodel dat in de onderbouwnatuurkunde aan bod komt laat zich als volgt kort samenvatten. Het gaat om een eenvoudig mechanistisch model, waarin men zich slechts op één niveau met deeltjes (dit zijn dan moleculen of atomen) bezighoudt. Hiermee bedoelen we dat de opbouw van deze deeltjes, alsmede het uiteenvallen in en hergroeperen van kleinere deeltjes, niet aan de orde komen. Van belang is alleen dat materie is opgebouwd uit

stoffen die bestaan uit onveranderlijke identieke deeltjes, en dat bepaalde verschijnselen, zoals overgangen tussen aggregatietoestanden, uitzetting en luchtdruk, beschreven kunnen worden in termen van hun gemiddelde snelheid, hun onderlinge afstanden en krachten, alsmede veranderingen daarin.

Globaal genomen komen uit de leerboeken twee redenen naar voren om dit model zo te behandelen. De eerste is dat leerlingen kennis moeten hebben van de bouw der materie, en de tweede dat hiermee het idee van een fysisch verklaringsmodel kan worden geïntroduceerd.

### *b. Leerlingideeën over 'deeltjes'*

Alvorens de wijze van behandeling van het onderwerp 'bouw der materie' in een aantal leergangen nader te beschrijven, zullen we eerst de belangrijkste leerlingideeën over 'deeltjes', zoals die uit diverse onderzoeken naar voren komen, kort samenvatten. Hieruit volgt immers mede een motivatie om überhaupt gedetailleerd naar deze behandeling te gaan kijken. Wij zullen ons daarbij beperken tot die ideeën die naar onze mening gerelateerd zijn aan het deeltjesmodel zoals dat net kort is samengevat.

Wanneer men spreekt over leerlingideeën met betrekking tot deeltjes dan gaat het veelal om ideeën die leerlingen naar voren brengen nádat zij onderwijs gevolgd hebben over 'de bouw der materie', d.w.z. om de wijze waarop zij een onderwezen deeltjesmodel interpreteren.

In de literatuur wordt gewoonlijk een veelheid van min of meer onafhankelijke leerlingideeën gerapporteerd, die er op neer komen dat leerlingen aan de onderwezen submicroscopische modeldeeltjes macroscopische eigenschappen zouden toekennen. Naar ons idee kunnen we leerlingen echter consistentere begrijpen als we ervan uitgaan dat aan hun interpretatie een dominante basis-intuïtie ('phenomenological primitive', DiSessa, 1988) ten grondslag ligt. Deze intuïtie 'zegt' dat materie iets is dat continu is en statisch. Deze notie maakt begrijpelijk dat veel leerlingen, wanneer zij 'gedwongen' worden om te redeneren in termen van 'deeltjes', deze eerder lijken te beschouwen als het resultaat van een (enigszins willekeurig) verdelingsproces in 'brokjes', dan als onveranderlijke identieke deeltjes die reeds vóór de verdeling als zodanig in de stoffen aanwezig zijn. Waarom dit verdelingsproces überhaupt zou moeten stoppen, dan wel waarom de resulterende 'brokjes' steeds dezelfde grootte zouden hebben, is dan natuurlijk niet duidelijk. Logischerwijs blijven in dit verdelingsproces de eigenschappen die in het dagelijks leven aan macroscopische hoeveelheden materie worden toegekend, ook eigenschappen van de individuele 'brokjes' (deeltjes). Deze kunnen dus een kleur hebben (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1986), krimpen of uitzetten (Piaget & Inhelder, 1974; Brook, Briggs & Bell, 1983; Doran, 1972),

vloeibaar zijn of worden (Brook, Briggs & Bell, 1983; Ben-Zvi, Eylon & Silberstein, 1986), zacht, doorzichtig of levend zijn (De Vos & Verdonk, 1987), etc.

Het blijven denken in termen van kleine, maar in essentie nog macroscopische 'brokjes' leidt tevens tot een daarbij horende interpretatie van snelheid van de 'brokjes'. Voor veel leerlingen hoeven de 'brokjes', met name die van een vaste stof, niet noodzakelijk voortdurend in beweging te zijn en zeker niet te blijven (Brook, Briggs & Bell, 1983; Meheut & Chomat, 1990; Novick & Nussbaum, 1978). Ook de relatie tussen temperatuur en snelheid wordt problematisch, want het is immers natuurlijker om te spreken in termen van warme of koude 'brokjes' (De Vos & Verdonk, 1987). Daarnaast blijken veel leerlingen moeite te hebben met het idee van volstrekt lege ruimte tussen de 'brokjes'<sup>1</sup>. Uit de literatuur komen twee algemene manieren naar voren om dit te vermijden, namelijk door de 'brokjes' ofwel tegen elkaar ofwel in een homogene substantie te plaatsen (Brook, Briggs & Bell, 1983; Meheut & Chomat, 1990; Novick & Nussbaum, 1981).

Tenslotte zijn er uit de literatuur ook enkele intuïtieve ideeën van leerlingen naar voren gekomen met betrekking tot de krachten tussen 'brokjes'. De grootte van deze krachten lijkt voor sommige leerlingen direct afhankelijk van de temperatuur (Brook, Briggs & Driver, 1984). Ook werd gevonden dat de richting van de krachten afhankelijk wordt gedacht van de beweging, aantrekking bij krimpen en afstoting bij uitzetten (Brook, Briggs & Driver, 1984). Daarnaast lijken afstotende krachten tussen 'brokjes' voor leerlingen soms een bruikbaar middel om hun statische beeld van materie te handhaven (Novick & Nussbaum, 1981).

Een en ander kan worden samengevat in de constatering dat uit deze onderzoeken blijkt dat, gegeven het genoten onderwijs, veel leerlingen juist de essentie van de overgang naar een submicroscopisch deeltjesmodel niet hebben kunnen volgen.

Ervan uitgaande dat bovenstaande beschrijving ook representatief zou kunnen zijn voor nederlandse onderbouwleerlingen, lijkt het nuttig om de onderbouwleerboeken te analyseren op de manieren waarop het deeltjesmodel wordt geïntroduceerd.

### **3. De analysemethode: criteria en vorm**

In veel literatuur waarin gerapporteerd wordt over de rol van intuïties van leerlingen voor het leren van natuurkunde, wordt gezegd dat in het onderwijs hierop beter moet worden aangesloten. Vaak wordt hierbij gepleit voor een 'constructivistische' visie op leren en onderwijzen, veelal samengevat in de term 'conceptual change'. Gegeven onze interpretatie van de problemen van leerlingen met onderwijs over het deeltjesmodel, kunnen we deze aanbevelin-

gen globaal ook voor dit onderwijs onderschrijven. Zonder hier nu verder op in te gaan en zonder te mogen verwachten dat zo'n visie al enigermate consistent is vormgegeven in nederlandse leerboeken, willen we wel aan deze aanbevelingen criteria ontlenu voor onze leerboekanalyse. We verwachten daarmee belangrijke didactische probleempunten in kaart te kunnen brengen. We komen zo tot de volgende aandachtspunten voor onze analyse.

*a. Conceptuele structuur.*

In welke volgorde worden welke aspecten, relaties en begrippen aan de orde gesteld.

*b. De relatie tussen theorie, experiment en verschijnsel.*

Worden experimenten en verschijnselen gebruikt om bij leerlingen een ervaringsbasis aan te leggen van waaruit een behoefte tot een theoretische verklaring kan ontstaan? Of dienen experimenten vooral als 'bewijs' van eerder behandelde theorie?

*c. De rol van modellen.*

Op welke wijze komt het modelkarakter aan de orde? Worden modellen gebruikt als feitelijke en soms zelfs tastbare weergave van de werkelijkheid? Of wordt getracht om leerlingen gevoel te laten krijgen voor het modelmatige karakter van de onderwezen deeltjestheorie?

*d. Karakterisering van de onderwijs strategie.*

In hoeverre worden er vooral "feiten" overgedragen, dan wel wordt er een strategie gevolgd waarin leerlingen geacht worden meer of minder geleid (her)ontdekkend te leren. Wordt er op een of andere manier aangesloten bij (intuïtieve) ideeën van leerlingen en is er ruimte voor hun eigen inbreng en interpretaties?

Bij de analyse is gekozen voor het gebruik van 'structuurkaartjes', een variant op het idee van een 'concept map', aangevuld met een korte beschrijving. In de structuurkaartjes is geprobeerd zoveel mogelijk van de aandachtspunten schematisch weer te geven. De beschrijving geeft een aanvullend globaal en kwalitatief beeld van de leergangen. Uit de literatuur is ons geen analyse-instrument bekend, dat recht doet aan onze inhoudelijk-didactische optiek. In de literatuur worden wel andere toepassingen van 'concept maps' gerapporteerd. Bijvoorbeeld als hulpmiddel bij onderzoek naar de betekenis die leerlingen aan bepaalde begrippen geven (Stewart, 1980; Novak, 1990), als middel om de te leren kennis hiërarchisch te representeren (Boschhuizen, 1982), of om leerlingen te helpen meer betekenisvol te leren (Novak, 1990).

In ons onderzoek is geprobeerd in structuurkaartjes een overzicht te geven van de wijze waarop in de verschillende boeken een deeltjestheorie wordt

opgebouwd. Belangrijke begrippen worden in de structuurkaart omgeven door een rechthoek. Introducerende tekst en practicumproeven, alsmede verklaringen voor natuurkundige verschijnselen worden buiten de rechthoeken aangegeven. De rechthoeken zijn verbonden door pijlen met bijschriften die de betreffende relatie verwoorden. De volgorde van behandeling is, volgens in de leerboeken onderscheiden deelonderwerpen, aangegeven met cijfers. De richting van de pijlen die lopen tussen experimenten en begrippen, geeft aan of het betreffende begrip uit het experiment wordt 'afgeleid', dan wel er in wordt toegepast.

De analyse-eenheid, d.w.z. de mate van detaillering, die bij de constructie is gehanteerd, hangt enigszins af van de uitgebreidheid waarmee het deeltjesmodel in de betreffende leergang aan de orde komt. In onze structuurkaartjes komt dus vooral de conceptuele samenhang van de leerstof tot uitdrukking en de behandelingsvolgorde. De preciese aard en uitgebreidheid van experimenten, teksten en vragen komen er niet in tot uiting. De waarde ligt echter daarin dat op overzichtelijke wijze wordt samengevat welke aspecten van het deeltjesmodel in welke volgorde behandeld worden, welke relaties al dan niet gelegd worden, en of en hoe er experimenten bij gebruikt worden.

#### 4. De selectie van de leergangen

Voor de analyse zijn een zestal Nederlandse leergangen geselecteerd. Daarbij is er naar gestreefd zoveel mogelijk uiteenlopende wijzen van behandeling in het onderzoek te betrekken. Dit is gedaan, enerzijds, door leergangen voor zowel het havo/vwo, als voor het mavo en het lbo te analyseren. En, anderzijds, door in het onderzoek zowel methoden te betrekken die op de in ons land gebruikelijke wijze zijn ontstaan, als methoden die het product zijn van grotere vernieuwingsprojecten. We hebben dus gestreefd naar een representatieve beschrijving van behandelingswijzen, en niet noodzakelijkerwijs van de meest gebruikte leerboeken. Het onderzoek van Kuiper en Alting (1990) geeft echter aan dat de laatste wel deel uitmaken van onze selectie. Uit de volgende leergangen zijn relevante hoofdstukken van de aangegeven delen geanalyseerd:

- Begrijpen door doen, A. de Rover; (Spruyt, v.Mantgem & de Does, Leiden) deel 1 (1981), 2abc (1982), 3ab (1983) (LBO).
- Natuurkunde voor nu en straks, De Jonge & Huizer; (Thieme, Zutphen) deel 1 (1979), 2 (1979), 3bc (1980) (LBO).
- Natuurkunde voor nu en straks, Langras, Hobijn, Huizer, De Jonge & Peters; (Thieme, Zutphen) deel 1m, 2m (1983)(MAVO).
- Natuurkunde in thema's, PLON-vereniging; (NIB Zeist) deel 1b (1988) (MAVO/HAVO/VWO).

- Elementaire natuurkunde, F.J.Engelhard; (Van Walraven b.v., Apeldoorn, 1981) deel A (MAVO/HAVO/VWO).
- DBK-na, DBK-vereniging; (Malmberg, Den Bosch) deel voor de tweede klas, 7e druk (z.j.) (HAVO/VWO).

## 5. Beschrijving van de leergangen

### *Begrijpen door doen* (fig.1)

- a. In deel 1 van deze leergang wordt aandacht besteed aan fasen en faseovergangen, warmtetransport en uitzetting van vaste stoffen, zonder dat, behalve in een paar regels, gebruik wordt gemaakt van een deeltjesmodel. Dat wordt geïntroduceerd in deel 2, hoofdstuk 3 "Moleculen en atomen", via het delen van een suikerklontje, waarbij men uiteindelijk het kleinste deeltje suiker over zal houden. "Een molecule is het kleinste deeltje van een stof met nog alle kenmerken van die stof." Zoals in fig.1 is te zien wordt hierna eerst het aspect 'ruimte tussen deeltjes' aan de orde gesteld en vervolgens het aspect 'beweging'. Daarna wordt middels een model van fietslagerkogeltjes de bouw van respectievelijk een vaste stof, een vloeistof en een gas besproken. De relatie tussen de snelheid van de deeltjes en de temperatuur komt niet in de theorie, maar alleen in twee vragen aan het eind van het hoofdstuk aan bod.
- b. Er komen weinig (5) experimenten in het hoofdstuk voor. Voorzover dit gebeurt, wordt uit de demonstratie van het experiment of verschijnsel direct een algemeen geldende regel afgeleid. Dit komt in fig.1 tot uiting doordat er wel pijlen van experimenten naar begrippen wijzen maar niet in tegengestelde richting. Na de beschrijving van de opstelling van een experiment wordt steeds direct verteld wat de leerling dient waar te nemen, of er wordt via gerichte invulvragen naar de bedoelde conclusie (algemene regel) gestuurd.
- c. Alleen in verband met de fietslagerkogeltjes wordt over een 'model' gesproken, hetgeen dan staat voor een tastbare representatie van moleculen van een stof in een bepaalde aggregatietoestand. Leerlingen zullen waarschijnlijk alleen op deze manier over een model kunnen spreken. Het modelmatige karakter van de deeltjestheorie wordt niet benadrukt. In deel 3 van de leergang wordt het model toegepast bij het onderwerp gasdruk, en bij processen als smelten en verdampen.
- d. Er wordt geen aandacht besteed aan uit de literatuur bekende intuïtieve ideeën, met name niet aan de interpretatieproblemen van het verdelingsproces. Bij de behandeling van het aspect 'ruimte tussen deeltjes' wordt steeds in het midden gelaten waar die ruimte uit bestaat.

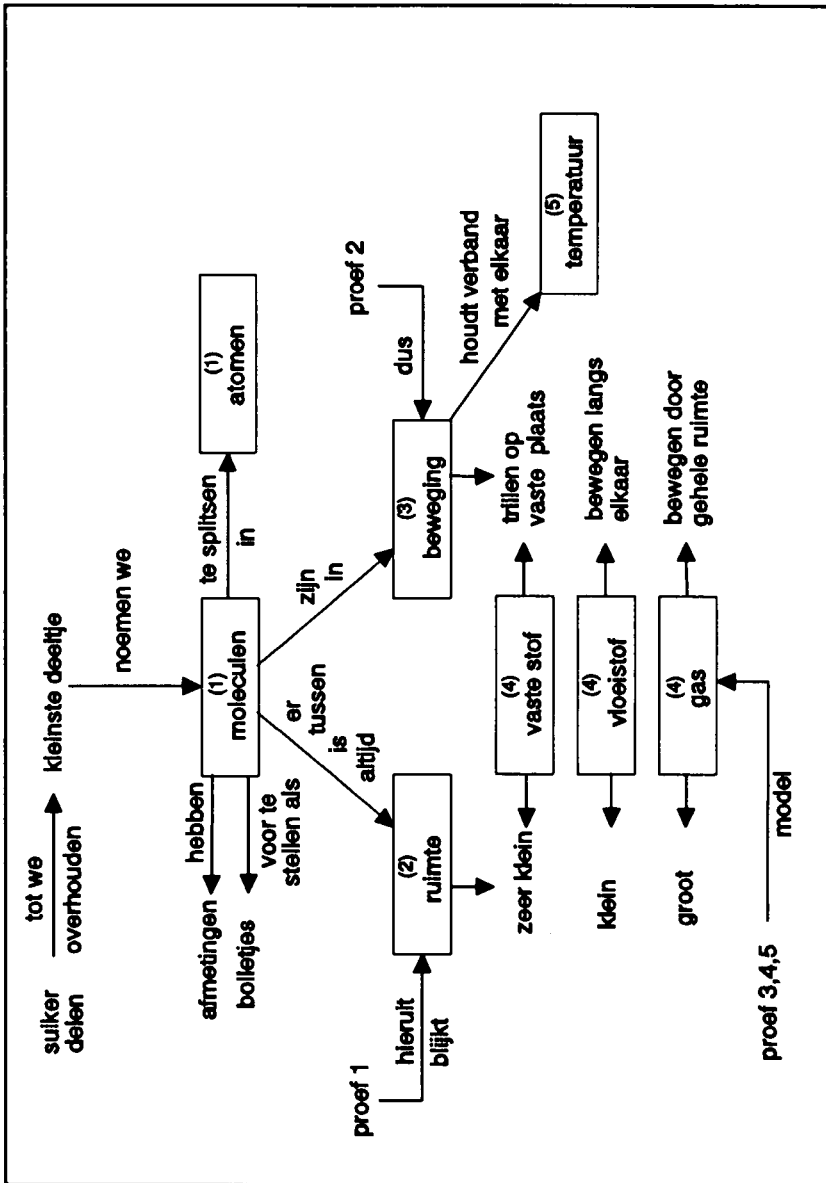


Fig.1. Structuurkaartje bij de leergang "Begrijpen door doen; LBO" (nummering geeft volgorde van behandeling aan)



Experimenten lijken niet tot doel te hebben om leerlingen 'ontdekkend' bij de ontwikkeling van de theorie te betrekken, of hen tot aanpassing van hun intuïtieve ideeën te brengen. Er wordt dan ook geen ruimte geboden voor eigen inbreng en expliciete meningsvorming.

*Elementaire natuurkunde (fig.2)*

- a. In deel A, hoofdstuk 2 "Materie", wordt, na de behandeling van fasen en faseovergangen, in §2.3 het deeltjesmodel geïntroduceerd via het mengen van gassen. Als definitie wordt gegeven dat een molecuul het kleinste deeltje van een stof is dat nog alle eigenschappen van die stof bezit. In fig.2 is zichtbaar dat zowel het aspect 'ruimte' als het aspect 'beweging' direct in het model worden betrokken. De relatie tussen deze aspecten en de temperatuur wordt behandeld via de beschrijving van experimenten over uitzetting van stoffen en in §2.4 via beschrijvingen van aggregatietoestanden en overgangen daartussen. In hoofdstuk 3, "Kracht", wordt in §3.5 vervolgens het aspect 'krachten tussen deeltjes' aan de orde gesteld, alsmede de relatie met het aspect 'ruimte'. In de deeltjes C (de druk in een gas), D (warmte(transport) en uitzetting) en G (gassen en dampen) wordt dit model verder toegepast.
- b. De beschrijvingen van experimenten (ca.15) dienen vrijwel uitsluitend ter directe legitimering van de theorie. Ze leiden een nieuw begrip in of bewijzen een stuk theorie. Daarbij worden zinnen gebruikt als: "De alcoholproef bewijst heel duidelijk het bestaan van de lege, intermoleculaire ruimte" en "Het kleine witte stipje op het bord bewijst, dat de 'bordmolekulen' een vanderwaalskracht op de krijtdeeltjes uitoefenen." Er wordt dus direct uitgelegd wat de leerlingen moeten 'waarnemen' en concluderen.
- c. Als definitie van een model wordt in deze leergang gegeven: "Een model is een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid." Hierbij worden als voorbeelden een tafelveetbalspel, een speelgoedtrein en een landkaart genoemd. Het woord model functioneert dus vooral in de zin van schaaltransformatie, waardoor het onzichtbare zichtbaar en het ongrijpbare grijpbaar (d.w.z. manipuleerbaar) wordt.
- d. Er wordt niet aangesloten bij (intuïtieve) ideeën van leerlingen. Er is geen ruimte voor eigen inbreng en interpretaties. De onderwijsstrategie kenmerkt zich door overdracht van feitelijk gepresenteerde algemene regels.

De opdrachten aan het eind van een paragraaf bestaan meestal uit open vragen, waarbij leerlingen zelf een antwoord moeten formuleren. De vragen lijken echter niet tot doel te hebben om leerlingen echt over hun eigen ideeën of die van anderen na te laten denken.

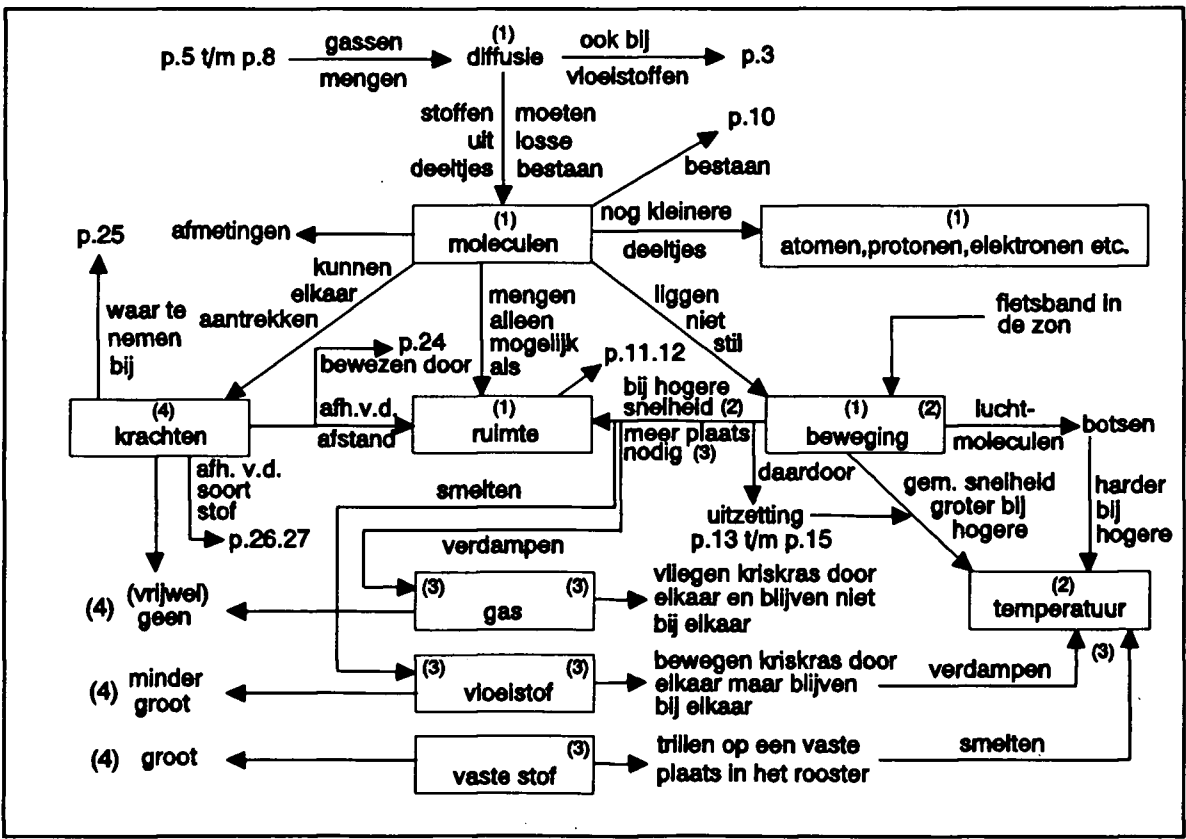


Fig. 2. Structuurkaartje bij de leerang "Elementaire natuurkunde; MAVO/HAVO/VWO"

### *Natuurkunde voor nu en straks*

Deze leergang zit zowel voor het lbo als voor het mavo qua wijze en uitgebreidheid van behandelen tussen de twee boven beschreven leergangen in. Daarom besteden we er hier slechts kort aandacht aan.

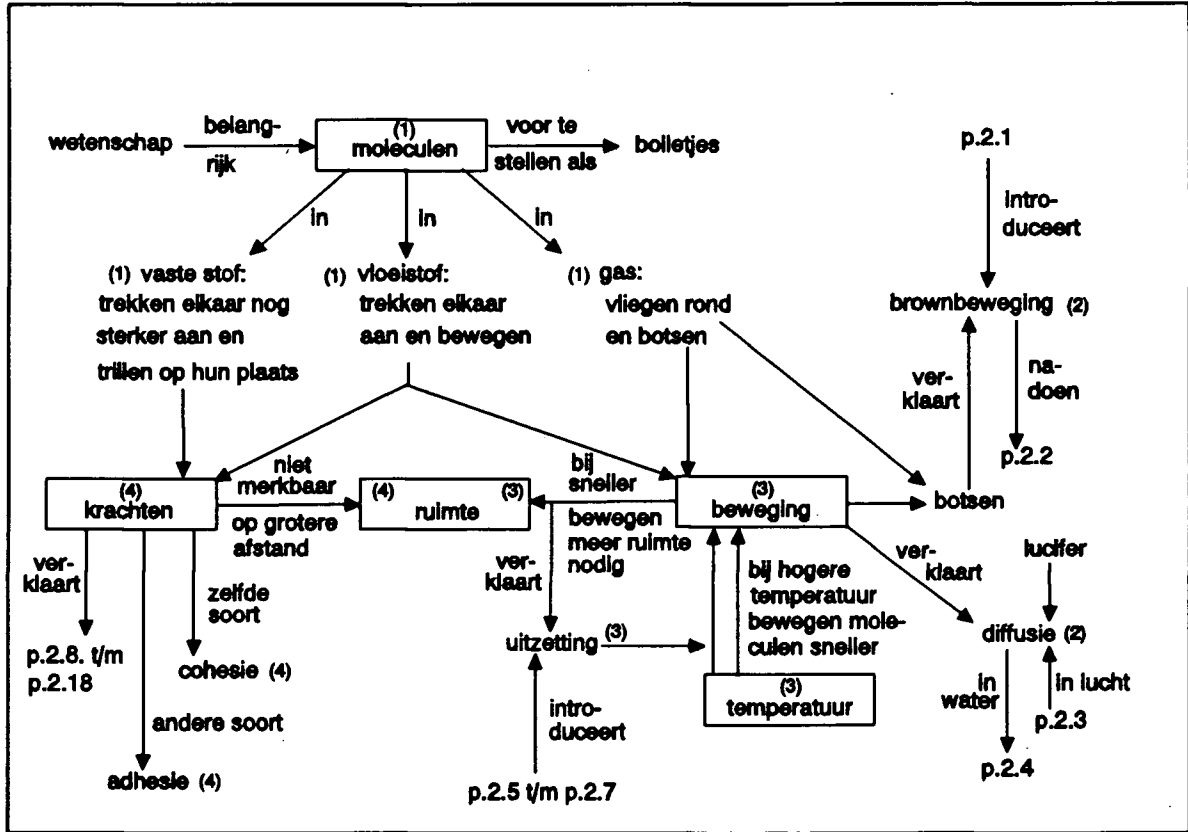
Via het scheuren van papier wordt het kleinste deeltje benoemd en gedefinieerd. In de lbo-versie wordt alleen het aspect 'beweging van deeltjes' en de relatie met de temperatuur besproken. In de mavo-versie wordt daarnaast ook het aspect 'ruimte' behandeld. Tevens wordt daarin een model voor de aggregatietoestanden gegeven en worden 'krachten tussen deeltjes' en de relatie met het aspect 'ruimte' aan de orde gesteld.

Genoemde situering geldt voor drie van de vier gehanteerde aandachtspunten. Afwijkend is de rol van modellen, aangezien deze in het geheel niet ter sprake komt.

### *Natuurkunde in thema's (fig.3)*

- a. In deel 1a komen allerlei eigenschappen van metalen, water en lucht aan de orde, terwijl in deel 1b, in het blok "Ls, water, stoom", de drie aggregatietoestanden van water, alsmede overgangen daartussen, uitgebreid worden behandeld. Hierbij komen nog geen deeltjes aan de orde. Het daarop aansluitende thema "Veranderingen verklaren", begint met een behandeling van aggregatietoestanden in het algemeen, op macroscopisch niveau. Het tweede hoofdstuk in dat thema gaat over moleculen. Na een korte inleiding over het belang van moleculen in de wetenschap, worden achtereenvolgens van een gas, een vloeistof en een vaste stof eenvoudige deeltjesvoorstellingen gegeven, waarin de aspecten 'beweging' (en de relatie met de temperatuur), 'ruimte' en 'krachten' direct betrokken worden. Dit wordt daarna per aspect verder uitgewerkt (te zien in fig.3), waarbij ook de relatie tussen 'ruimte' en 'beweging' (via uitzetting), en tussen 'krachten' en 'ruimte' wordt gelegd. Tenslotte worden ook overgangen tussen aggregatietoestanden in termen van deeltjes beschreven. In deel 2a (derde klas) wordt het onderwerp radioactiviteit aan de orde gesteld.
- b. Voorafgaand aan het hoofdstuk over deeltjes wordt uitgebreid de mogelijkheid geboden, d.m.v. leerlingexperimenten, kennis te maken met de eigenschappen van stoffen in verschillende aggregatietoestanden. Daarmee wordt, ons inziens, beoogd om bij leerlingen een ruime ervaringsbasis aan te leggen. Vervolgens wordt echter niet geprobeerd om de deeltjestheorie vanuit deze ervaring te ontwikkelen. Het model wordt ineens geponeerd en daarna per aspect uitgewerkt, met een grote nadruk op experimenteren (ca.20), ter ondersteuning en toepassing van de theorie.

Fig. 3. Structuurkaartje bij de leerang "Natuurkunde in thema's; MAVO/HAVO/VWO".



- c. In deze leergang wordt het woord model niet genoemd. Wel wordt er regelmatig gesproken over molecuulvoorstellingen en "je kunt je voorstellen dat moleculen ...". Hoewel er in de inleiding van het hoofdstuk over moleculen wordt aangegeven dat er verschillende molecuulvoorstellingen mogelijk zijn, worden leerlingen verder niet betrokken bij de ontwikkeling van zo'n voorstelling, alleen bij het gebruik.
- d. In deze leergang wordt duidelijk gepoogd aan te sluiten bij de cognitieve structuur en leefwereld van leerlingen. Dit gebeurt in een voor leerlingen verstaanbare taal en vanuit bekende contexten. Het idee van moleculen wordt echter ingeleid vanuit 'de wetenschap'. Er wordt niet vanuit intuïtieve ideeën over (de bouw van) materie naar een deeltjesmodel gewerkt. Wel wordt van de leerlingen verwacht dat ze veel zelf doen en zelf formuleren. Ze worden daarbij steeds gestuurd door middel van gerichte vragen. Soms worden bekende intuïtieve ideeën aan de orde gesteld. Een voorbeeld hiervan is een discussie tussen drie leerlingen over het gedrag van moleculen tijdens het uitzetten van een stof door verwarming. Ook in een vraag aan het eind van het hoofdstuk komen een aantal intuïtieve ideeën naar voren.

#### *DBK-na (fig.4)*

- a. In het boek voor de tweede klas komen in het eerste blok eigenschappen van zowel voorwerpen als stoffen, alsmede veranderingen daarin aan bod. De blokken 4 en 5 behandelen 'de bouw van materie', eerst van gassen, daarna van vloeistoffen en vaste stoffen. In blok 6 wordt het gasmodel gebruikt bij de algemene gaswet en de introductie van de absolute temperatuur. In blok 13 'warmte' (derde klas) wordt het model verder gebruikt.

In fig.4 is te zien hoe in blok 4 het model voor een gas wordt opgebouwd. Het blok begint met proeven en opdrachten om verschillende eigenschappen van gassen te ontdekken, in fig.4 aangegeven met P1 (1t/m<sup>22</sup>). In het werkblad moet de leerling de eigenschappen van gassen die uit de proeven volgen op een rijtje zetten en een deeltjesmodel bedenken waarmee die eigenschappen verklaard zouden kunnen worden. In het theorieblad worden vervolgens de kenmerken van het gasmodel gegeven, waarna de gevonden eigenschappen met behulp van deze kenmerken worden verklaard. Het model omvat de aspecten 'ruimte', 'beweging' en 'massa van deeltjes'. Daarna volgen nog twee experimenten waarvan het tweede niet met het gegeven gasmodel is te verklaren, omdat daarin de relatie tussen de snelheid van de deeltjes en de temperatuur nog niet is opgenomen. Deze uitbreiding volgt in blok 6. Eerst worden in blok 5 op gelijke wijze modellen voor vloeistoffen en vaste stoffen opgebouwd, waarin ook

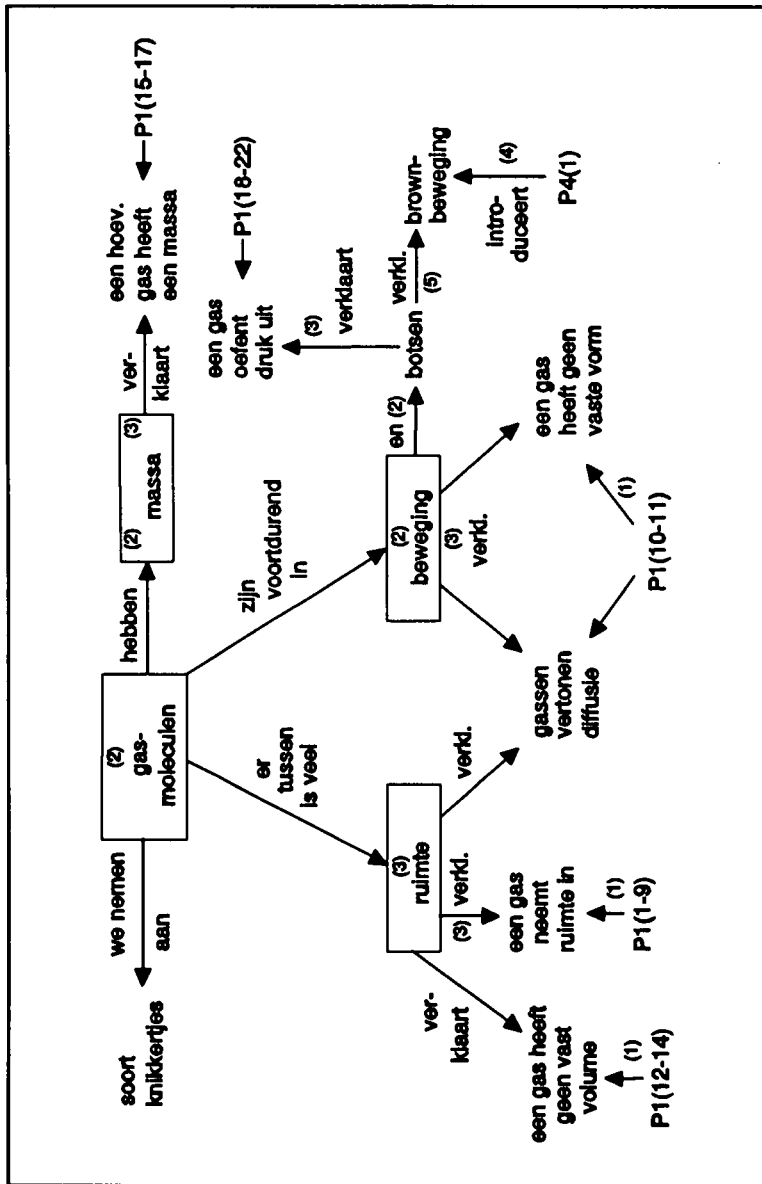


Fig.4. Structuurkaartje bij blok 4 uit de leergang "DBK-na; HAVO/VWO"

- het aspect 'krachten tussen deeltjes' wordt opgenomen (hiervoor zijn dus soortgelijke kaartjes te tekenen als fig.4).
- b. Er ligt in deze leergang een grote nadruk op experimenteren. In de eerste practicumparagraaf van blok 4 worden maar liefst 22 opgaven gegeven om eigenschappen van gassen te ontdekken en te benoemen. De experimenten in de practicumparagrafen dienen steeds ter inleiding van de theorie. Ze leiden tot een stelsel empirische regels, die vervolgens met een model worden verklaard. Daarna laten nieuwe experimenten de beperktheid van het tot dan ontwikkelde model zien, zodat aanpassing nodig is, etc.
  - c. In blok 4 gaat men expliciet in op de vraag "Hoe maken we een model?" In één van de werkbladen staat een verhaal over een diefstal, met als opdracht het tekenen van een portret van de dief aan de hand van de gegevens. In de bijbehorende theorie worden voorbeelden gegeven van situaties waarin modellen gebruikt worden. Hieruit wordt afgeleid dat "... het model zo'n eenvoudig mogelijke voorstelling van de werkelijkheid is. Bovendien moet alles wat we al weten in het model passen." De leerlingen moeten vervolgens zelf modellen ontwikkelen en aanpassen en er wordt gewezen op beperkingen van het model.
  - d. In deze leergang worden regelmatig voorbeelden uit het dagelijks leven aangehaald maar er wordt geen aandacht besteed aan bekende intuïtieve interpretaties. Alhoewel het lijkt alsof leerlingen in de practicumparagrafen veel gelegenheid krijgen om zelf observaties en gedachten te formuleren, wordt er feitelijk steeds voorondersteld dat leerlingen wel de 'goede' zaken zullen waarnemen. In de theorie wordt dan ook direct aansluitend aan de 'goede waarnemingen' verteld hoe de zaken natuurkundig in elkaar steken. Wel wordt van leerlingen verlangd dat ze reflecteren op tekortkomingen of noodzakelijke wijzigingen in het model. Ze worden echter niet gevraagd te reflecteren op wat ze geleerd hebben en wat ze daarmee kunnen.

## 6. Vergelijking van de leergangen

### *a.1. Welke aspecten van het deeltjesmodel worden behandeld?*

Allereerst kunnen we constateren dat er een grote overeenstemming is ten aanzien van het onderwezen deeltjesmodel. Het verschil tussen vwo en lbo zit niet in de mate van abstractie van het model, maar hooguit in de mate van complexiteit.

Zo wordt, bijvoorbeeld, in de twee geanalyseerde leergangen voor het lbo niet het aspect 'krachten tussen deeltjes' aan de orde gesteld, terwijl in de lbo-versie van "Natuurkunde voor nu en straks" ook het aspect 'ruimte' niet ter sprake komt. Wel wordt in beide leergangen de term 'botsingskrachten' gehanteerd bij het bespreken van het deeltjesmodel in relatie tot gasdruk. Wat er precies onder deze term verstaan wordt blijft echter onduidelijk. In de

overige leergangen worden wel alle drie genoemde aspecten besproken, terwijl in de DBK-methode en in "Natuurkunde voor nu en straks" bovendien het aspect 'massa van deeltjes' gebruikt wordt.

Ten aanzien van de introductie van het deeltjesidee valt op te merken dat dit in drie leergangen (lbo/mavo) gedaan wordt door 'de gedachtenconstructie' van het 'noodzakelijk stoppende' verdeelproces; in twee door uit te gaan van het empirische verschijnsel van diffusie van gassen waaruit het deeltjesidee noodzakelijk zou volgen, terwijl het ook een keer geponeerd wordt als zijnde 'belangrijk in de wetenschap'.

### *a.2. Wat is de volgorde van behandeling?*

Behalve bij "Natuurkunde voor nu en straks" is het steeds zo dat aan de invoering van het deeltjesmodel de behandeling van fasen en fase-overgangen, in meer of minder uitgebreide vorm, voorafgaat. De volgorde waarin de aspecten aan bod komen verschilt per leergang. Zowel in beide lbo-leergangen als in de mavo-versie van "Natuurkunde voor nu en straks" worden de aspecten sequentieel belicht. In "Natuurkunde in thema's" wordt het model eerst in zijn geheel gegeven en daarna per aspect verder uitgewerkt: eerst 'beweging', daarna 'ruimte' en vervolgens 'krachten'. In "Elementaire natuurkunde" wordt het model bijna geheel gegeven, als zodanig uitgewerkt, en daarna aangevuld met 'krachten'. In de DBK-methode wordt vanuit een geheel andere opzet te werk gegaan. Ook hier wordt het model geheel gegeven maar per aggregatietoestand verder uitgewerkt.

Het geplande tijdstip van behandeling varieert van direct aan het begin van de tweede klas ("Natuurkunde voor nu en straks"), tot eind tweede klas ("Natuurkunde in thema's").

### *b. De relatie tussen theorie en experiment*

De volgorde van behandeling hangt sterk samen met de nagestreefde relatie tussen theorie en experiment. In "Begrijpen door doen" en "Natuurkunde voor nu en straks" worden überhaupt weinig experimenten of verschijnselen beschreven. Voorzover dit gebeurt is er sprake van een 1-1 relatie. Uit één proef 'volgt' direct, 'inductief', de gewenste algemene regel. In "Elementaire natuurkunde" komen meer experimenten/verschijnselen aan de orde. Daardoor is er wat meer ruimte voor afwisseling van 'inductie' en 'deductie', maar ook hier is er steeds sprake van een eenduidige interpretatie van het experiment, dan wel een eenduidig bewijs van de theorie. In "Natuurkunde in thema's" en "DBK-na" worden veel experimenten beschreven alvorens het deeltjesmodel gegeven wordt. Daarna dienen de experimenten vooral ter ondersteuning en toepassing van de theorie. Nergens worden experimenten opzettelijk gebruikt om de eigen interpretaties van leerlingen over deeltjes aan



het wankelen te brengen. In alle gevallen gaat het om een van bovenaf, d.w.z. vanuit de vakstructuur, geëlementariseerd deeltjesmodel, dat gebruikt wordt om door het leerboek aangedragen verschijnselen en experimenten te 'verklaren'.

### *c. De rol van het model*

In "Natuurkunde voor nu en straks" komt het woord model in het geheel niet aan de orde. In "Begrijpen door doen" en "Elementaire natuurkunde" wordt gesproken over model als een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid. Dit idee wordt echter niet verder uitgewerkt, zodat er geen andere indruk kan ontstaan dan dat het model de feiten weergeeft, maar dat we ons er, als we over deeltjes praten of ze tekenen, een vergroot beeld bij vormen. Het idee dat het om een denkmodel zou gaan, komt in deze leerboeken niet aan bod. In "Natuurkunde in thema's" en "DBK-na" wordt aangegeven dat er meerdere modellen mogelijk zijn, met als bedoeling het 'verfeitelijken' van het model te voorkomen. De leerlingen die met DBK werken, worden tevens geacht actief met modellen te manipuleren, ze worden ook geconfronteerd met mogelijke beperkingen van een model. Alleen in deze laatstgenoemde leergang wordt naar onze mening echt getracht om leerlingen iets van het modelmatige karakter van de deeltjestheorie te laten zien.

Bij het 'verklaren' van stoffeïensenschappen wordt niet of nauwelijks expliciet aandacht besteed aan het feit dat sommige eigenschappen zich wel laten vertalen op individueel deeltjesniveau, terwijl anderen juist het gevolg zijn van collectief gedrag. Ook komt niet aan de orde dát en waarom een deeltjesmodel met zo weinig mogelijk intrinsieke deeltjeseïensenschappen, zoveel mogelijk probeert te beschrijven (De Vos, 1990).

### *d.1. Aansluiten bij leerlingen*

Het taalgebruik in de geanalyseerde leergangen varieert van zeer informeel ("Natuurkunde in thema's") tot vrij formeel ("Elementaire natuurkunde"). Alleen in "Natuurkunde in thema's" wordt expliciet geprobeerd de leerstof te verbinden met leefwereldcontexten. In alle andere leergangen worden wel (meer of minder regelmatig) verschijnselen of voorwerpen uit de leefwereld genoemd, maar onmiddellijk geplaatst in de fysische context van de te behandelen leerstof. Het lijkt niet de bedoeling deze leerstof ook in de leefwereld expliciet te laten functioneren.

In de meeste leerboeken wordt geen rekening gehouden met mogelijk ongewenste interpretaties van leerlingen. Integendeel, deze mogelijkheid wordt vaak juist door de wijze van behandeling versterkt, dan wel veroorzaakt. Met name geldt dit het voor introduceren van deeltjes als eindstap in een verdeelproces, bijvoorbeeld van een suikerklontje of van papier. De

hierna volgende definitie van een molecuul als het kleinste deeltje van een stof met nog alle kenmerken van die stof, zal leerlingen sterk stimuleren om deze molekulen te zien als kleine stukjes, brokjes of druppeltjes stof. In geen van de leergangen wordt aandacht besteed aan het feit dat materie intuïtief als continu en statisch wordt opgevat, hetgeen betekent dat daarmee een fundamenteel basisprobleem over het hoofd wordt gezien.

In dit verband dient er ook op gewezen te worden dat alleen al het tekenen van deeltjes als kleine bolletjes, die bijvoorbeeld opeengepakt zitten in een vaste stof, sterk het idee kunnen oproepen dat een deeltje dus niets anders is dan een stukje stof. Een soortgelijk probleem doet zich voor met het tekenen van enkele deeltjes 'in' een vloeistof (waarbij overigens de deeltjesafstand vaak veel te groot getekend wordt). Alleen in "Natuurkunde in thema's" wordt enige aandacht besteed aan intuïtieve interpretaties, zonder dat men zich overigens, naar het lijkt, de problematische rol van getekende voorstellingen realiseert.

#### *d.2. Gebruikte instructiestrategieën*

In vier van de zes leergangen is gekozen voor (zeer) 'directe instructie'. Er wordt direct meegedeeld 'hoe de zaken zitten', en dat liefst zo beknopt mogelijk. Er wordt niet of nauwelijks geprobeerd een onderwerp in te leiden, motivatie op te roepen bij leerlingen en vragen te laten ontstaan die om een beantwoording zouden kunnen vragen. Na een beschreven experiment wordt direct de 'verklarende' generalisatie gegeven. Er is geen ruimte voor eigen interpretaties van leerlingen en discussie daarover. De dominante werkvorm lijkt klassikale uitleg met leraardemonstraties (voorzover dit althans uit een leerboekanalyse te deduceren valt). Leerlingactiviteiten, anders dan theorie leren en sommen maken, lijken niet aan de orde. We kunnen deze instructiestrategie dan ook kort samenvatten als 'overdragen (via uitleggen) en oefenen'.

In de leergangen "DBK-na" en "Natuurkunde in thema's" is dit anders. Daar wordt het deeltjesmodel pas na een uitgebreide experimentele kennismaking met diverse eigenschappen van stoffen geponeerd. Men zou deze opzet kunnen beschrijven als 'het aanbrengen van een ervaringsbasis waardoor bij leerlingen hopelijk een behoefte aan een algemene verklaring ontstaat'. Toch wordt in beide methoden over het hoofd gezien dat de besproken verschijnselen en experimenten niet echt de noodzaak in zich bergen om de sprong naar de theoretische verklaring: het model, ook echt te moeten maken. In beide leergangen krijgen leerlingen veel ruimte tot experimenteren, alhoewel ze wel steeds geacht worden in deze experimenten de 'goede' zaken te zien, d.w.z. die zaken die de schrijver erin verstoppt heeft. Verschil is dat in "DBK-na" de keuze van contexten sterk vanuit de te ontwikkelen vakstruc-

tuur is gedaan, terwijl in "Natuurkunde in thema's" herkenbaarheid vanuit de leefwereld mede een belangrijke rol heeft gespeeld. Kort samengevat kunnen we de gekozen strategie classificeren als klassieke, d.w.z. vanuit de vakstructuur vormgegeven, 'guided discovery'.

In geen van de leergangen wordt gepoogd op meer of minder 'constructivistische wijze' (Lijnse e.a., 1990) de ideeën van leerlingen over stoffen en materialen, bijvoorbeeld via 'deeltjes als brokjes stof', te ontwikkelen tot 'deeltjes als bouwstenen'. Daardoor ontbreekt ook aandacht voor zaken als reflectie en metacognitie.

## 7. Bespreking

Allereerst kunnen we concluderen dat de gebruikte methode van 'structuurkaartjes' inderdaad geschikt is om de conceptuele samenhang en volgorde van behandeling overzichtelijk 'grijpbaar' te maken. Probleem hierbij is wel om het juiste niveau van detaillering te vinden. Ook hoort er de kanttekening bij dat deze kaartjes een beschrijvende aanvulling behoeven, vooral ten aanzien van juist die didactische aspecten die niet in de kaartjes kunnen worden ondergebracht. Vergelijking van de kaartjes voor verschillende leergangen maakt zichtbaar dat er zowel grote overeenkomsten als grote verschillen bestaan tussen de behandeling van het onderwerp 'bouw der materie' in verschillende leergangen.

De vraag is nu hoe deze verschillende behandelingen te waarderen, in het licht van de beschreven literatuurgegevens over intuïtieve leerlinginterpretaties en het te verwachten niveau van inzichtelijk kunnen hanteren van een deeltjesmodel. Een andere reflectievraag is in hoeverre er ook fysische kanttekeningen te plaatsen zijn bij het onderwezen deeltjesmodel. Is het wel een adequate elementarisering van het huidige fysische denken over de structuur der materie. Is het wel nodig voor de verklaring van de verschijnselen waarvoor het gebruikt wordt. Kan het op het onderbouwniveau eigenlijk wel consistent gebruikt worden, of doet het impliciet een beroep op voorkennis die nog niet aanwezig kan zijn, etc. Daarop zullen we nu niet verder ingaan. We willen ons hier beperken tot het beschrijven van verwachtingen ten aanzien van de vraag in hoeverre de beschreven behandelingswijzen kunnen resulteren in begrip en inzicht.

Tot welke 'denkactiviteit' t.a.v. de bouw der materie zijn leerlingen die de geanalyseerde leergangen gebruiken nu in staat na het volgen van het beschreven onderwijs? Wat voor soort vragen kunnen zij dan beantwoorden? De WEN (1988) onderscheidt in dit opzicht reproductieve en productieve vragen. In het geval van reproductie verstaat men onder de denkactiviteit: 'leerling kan het antwoord zo uit het geheugen halen', 'herkennen zonder probleem-analyse' en, bij een onbekende context, 'eenvoudige transfer naar in de les

behandelde contexten'. In het geval van productie gaat het om 'een niet routinematig oplosbare vraag' en, bij een onbekende context, om 'vragen in een nieuwe context waarbij de transfer naar een bekend gebied niet meteen voor de leerling duidelijk is'. Het gaat dus, simpel gezegd, om het reproduceren van uit het hoofd geleerde feiten, dan wel om het produceren van op inzicht gebaseerde redeneringen.

Als we nu met deze ruwe onderscheiding in gedachten, een verwachting uitspreken over de leerresultaten van leerlingen ten aanzien van deeltjes, dan kan deze niet anders zijn dan schokkend. Voor vier van de onderzochte leergangen kan het niet anders dan dat leerlingen niet of nauwelijks verder zullen komen dat het reproduceren van feiten. Te verwachten is dat we bij deze leerlingen nog alle intuïtieve interpretaties uit de literatuur in groten getale zullen aantreffen. Ook het modelbegrip zal bij deze leerlingen, naar verwachting, volledig niet kunnen functioneren.

Ten aanzien van de methoden "DBK-na" en "Natuurkunde in thema's" is het moeilijker een verwachting uit te spreken. Gegeven de eigen activiteit die van leerlingen gevraagd wordt in het leerproces, en de mogelijke onderlinge discussies daarover die kunnen plaatsvinden, zouden we verwachten dat deze methoden tot meer inzicht zouden moeten leiden dan de vorige. De invloed van intuïtieve interpretaties zou minder kunnen zijn, terwijl het modelbegrip verder ontwikkeld wordt. Of er echter al toegekomen wordt aan een inzichtelijk hanteerbaar deeltjesmodel is, in het licht van de literatuur, ook voor deze leergangen nog maar de vraag.

Als dit zo mocht blijken te zijn, dan roept dit uiteraard wel de vraag op wat überhaupt de overblijvende functie zou kunnen zijn van een zo vroege introductie van het deeltjesdenken in het natuurkunde-onderwijs. Het zou kunnen zijn dat, in het licht van de basisvorming, hier nog eens diepgaand over moet worden nagedacht. Zeker is het wenselijk dat ten aanzien van dit onderwerp ontwikkelingsonderzoek gaat plaatsvinden, waarin getracht wordt huidige inzichten omtrent begripsontwikkeling ook voor dit onderwerp productief te maken.

### Noot:

1. Ont de dubbelzinnige term 'deeltjes' te vermijden, beveelt De Vos (1985) de neutrale term 'corpuscula' aan.

### Literatuur

Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12 - 16). In: P.L.Lijnse e.a. (Eds.) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*, (pp.12-35), Utrecht: CD-β Press.

- Ben-Zvi, R., B.Eylon & J.Silberstein (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, 64-66.
- Boschhuizen, R. (1982). The preparation of hierarchical "concept maps". *Revue ATEE Journal* 4, 199-218.
- Brook, A., H.Briggs & B.Bell (1983). *Secondary students' ideas about particles*. Leeds: Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Brook, A., H.Briggs & R.Driver (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds: Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- DiSessa, A.(1988). Knowledge in pieces. In: G.Forman & P.B. Pufall (Eds.) *Constructivism in the Computer Age*, (pp.49-70), Hillsdale: Erlbaum.
- Doran, R.L. (1972). Misconceptions of selected science concepts held by elementary school students, *Journal of Research in Science Teaching* 9, 2, 127-137.
- Kuiper, W.A.J.M. & A.Altink (1990). *Biologie, natuurkunde, scheikunde en kennis der natuur: de feitelijke lespraktijk in beeld*, OCTO: Twente.
- Lijnse, P.L., P.Licht, W.de Vos & A.J.Waarlo (Eds.)(1990). *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. Utrecht: CD-β Press.
- Meheut, M. & A.Chomat (1990). The bounds of childrens' atomism; an attempt to make children build up a particulate model of matter. In: P.L.Lijnse, P.Licht, W.de Vos & A.J.Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, (pp.266-282), Utrecht: CD-β Press.
- Novak, J.D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science* 19, 29-52.
- Novick, S. & J.Nussbaum (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, 62, 273-281.
- Novick, S. & J.Nussbaum (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross age study. *Science Education*, 65, 187-196.
- Pfundt, H. (1981). Das Atom - letztes Teilungsstück oder erster Aufbaustein? Zu den Vorstellungen die sich Schüler vom Aufbau der Stoffe machen, *Chimica Didactica*, 7, 75-94.
- Piaget, J. & B.Inhelder (1974). *The child's construction of quantity*. Londen: Routledge & Kegan Paul.
- Schweers, J. & P.van Vianen (1969). *Natuurkunde op corpusculaire grondslag*. Den Bosch: Malmberg.
- Stewart, J. (1980). Techniques for assessing and representing information in cognitive structure. *Science Education*, 64, 223-235.

- Vollebregt, M. (1991). *Wat begrijpen leerlingen van 'de bouw van materie'*. Afstudeerverslag, T.U.Delft/R.U.Utrecht.
- Voorde, H.H. ten (1977). *Verwoorden en verstaan*. Den Haag: SVO.
- Voorde, H.H. ten (1990). Komen tot kennis van en tot inzicht in de eigenschappen van materialen en stoffen. In K.Th.Boersma e.a. (red.), *Begripsontwikkeling in het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming*. Enschede: SLO.
- Vos, W. de (1985). *Corpusculum delicti*. Utrecht: RUU.
- Vos, W. de & A.H.Verdonk (1987). A new road to reactions, part 4. The substance and its molecules. *J. Chem. Educ.*, 64, 692-694.
- Vos, W. de (1990). Deeltjes. In: K.Th.Boersma e.a. (red.), *Begripsontwikkeling in het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming*, (pp.177-189), Enschede, SLO.