

Wat begrijpen leerlingen van "de bouw van materie"?

Een onderzoek naar begripsvorming in de onderbouw van het secundair natuurkunde-onderwijs

M.J. Vollebregt en P.L. Lijnse
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
CD- β , Universiteit Utrecht

Summary

This paper presents the results of a study concerning 13 to 15-year-old pupils' understanding of the particle model as it is taught in Dutch secondary physics education (usually in the eighth grade). The research included a questionnaire (before, during and after the particle model was taught) and interviews (only after the teaching period) and was carried out with children from three different ability levels. The results show that some children, especially high-ability-pupils, improved significantly during the teaching period in evaluating short sentences concerning aspects of the model. But when asked to explain in their own words a certain phenomenon in terms of particles, most pupils from all three ability levels gave what is known as 'alternative particle' explanations. It is argued in this paper however, that one should be careful in interpreting such explanations. Finally, the value of current teaching materials is questioned as their intended effect apparently is not reached.

1. Inleiding en vraagstelling

In het natuurkunde-onderwijs is het leren van een deeltjesmodel van materie niet zonder problemen. In een eerder verschenen artikel (Vollebregt & Lijnse, 1992) is beschreven dat in de buitenlandse literatuur over dit onderwerp veel leerproblemen worden teruggebracht tot de invloed van intuïtieve noties van leerlingen over de bouw der materie. Op grond daarvan bleek het onderwezen model vaak in onbedoelde zin te worden geïnterpreteerd. Dit roept de vraag op in hoeverre soortgelijke problemen zich ook in ons onderwijs voordoen. Daartoe is in het genoemde artikel een analyse beschreven van de behandeling van het onderwerp 'structuur der materie' in een aantal onderbouw natuurkunde-leergangen. Op grond van deze leerboek- en literatuuranalyse hebben we voorzichtige globale verwachtingen geformuleerd ten aanzien van te bereiken inzicht in het onderwezen deeltjesmodel, bij leerlingen die aan de hand van de geanalyseerde methoden onderwijs gevolgd

hebben. In dit artikel zullen we deze verwachtingen empirisch toetsen en bediscussiëren.

De geformuleerde verwachtingen kunnen als volgt kort worden samengevat. Voor vier van de onderzochte leergangen verwachten we dat leerlingen niet verder zullen komen dan het reproduceren van geleerde 'feiten'. Te verwachten is bovendien dat we bij deze leerlingen inderdaad nog alle intuïtieve interpretaties beschreven in de didactische literatuur in grote getale zullen aantreffen. Ook het modelbegrip als zodanig zal bij deze leerlingen, naar verwachting, niet kunnen functioneren.

Ten aanzien van de methoden 'DBK-na' en 'Natuurkunde in thema's' was het moeilijker een verwachting uit te spreken. Gegeven de eigen activiteit die in deze methoden van leerlingen lijkt te worden gevraagd in het leerproces, en de mogelijke onderlinge discussies en onderwijsleergesprekken die daarbij plaatsvinden, zouden we mogen verwachten dat deze methoden tot meer inzicht leiden dan de andere. 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 lijkt, in het licht van de literatuur, ook voor deze leergangen nog maar de vraag.

Het hier te rapporteren onderzoek gaat daarom uit van de volgende algemene vraagstelling: In hoeverre zijn leerlingen na het natuurkunde-onderwijs in de onderbouw in staat een eenvoudig deeltjesmodel reproductief dan wel productief te gebruiken en in hoeverre is hierin een verschil ten aanzien van de gebruikte leergangen te onderkennen?

2. Algemene opzet van het onderzoek

Het onderzoek bestond uit een kwalitatief en een kwantitatief gedeelte. Vanwege de relevantie van het onderzoek voor de toekomstige basisvorming is de hele breedte van het onderwijs in het onderzoek betrokken. Het reproductief gebruik van het deeltjesmodel is kwantitatief onderzocht met behulp van een gesloten vragenlijst. Voor een nadere toelichting van de opzet en uitvoering verwijzen we naar §3.

Het bereiken van een productief kennisniveau is enerzijds onderzocht door in de vragenlijst ook een open vraag op te nemen en anderzijds door leerlingen te interviewen. Vanwege de arbeidsintensiviteit zijn beide kwalitatieve methoden slechts voor een beperkt aantal leerlingen toegepast, zodat het onderzoek in dit opzicht explorerend moet worden genoemd. In de interviews is ook nagegaan in hoeverre leerlingen in staat waren om te spreken over deeltjes en modellen in algemenere zin. Een nadere toelichting van de opzet en uitvoering is te vinden in §4.

3. Het kwantitatieve onderzoek

a. De opzet en uitvoering

In dit onderzoek is gepoogd het effect van onderwijs te meten. Hiervoor zou de ontwikkelde vragenlijst (zie §3b) voor, tijdens en na het leerproces moeten worden afgenomen, steeds bij dezelfde leerlingen (longitudinale opzet). Om de tijdsduur van het onderzoek te beperken is echter gekozen voor een cross-sectionele opzet. Daarin zijn wel drie afnamemomenten (aan het begin van de tweede klas, aan het eind van de tweede klas en aan het eind van de derde klas) vertegenwoordigd, maar op deze momenten zijn steeds andere leerlingen ondervraagd. Daarnaast zijn drie verschillende niveaus van onderwijs in het onderzoek betrokken: lbo, mavo en havo/vwo. Per schooltype waren de leerlingen bovendien nog verdeeld in twee groepen die elk één van de eerder geanalyseerde leergangen gebruikten (Vollebregt en Lijnse, 1992).

In maart en april 1989 zijn er 170 natuurkundesecties aangeschreven met het verzoek om medewerking te verlenen aan dit onderzoek. Hiervan hebben er 19 afwijzend en 78 positief gereageerd. Uit de positieve reacties zijn, op grond van de gebruikte leergangen, 31 scholen geselecteerd. De vragenlijst is voor de zomervakantie van 1989 naar deze scholen gestuurd om afgenomen te worden in een tweede en een derde klas. Eind augustus 1989 is de vragenlijst opnieuw naar alle deelnemende scholen gestuurd om aan het begin van de tweede klas afgenomen te worden. De antwoorden van de leerlingen zijn verwerkt met behulp van het computerprogramma SPSS/PC 2.0. Daarbij zijn alle doubleurs aan het begin van de tweede klas uit het databestand verwijderd, alsmede alle leerlingen die meer dan 10% van de vragen niet beantwoord hadden. Na deze selectie zijn de antwoorden van in totaal 2122 leerlingen overgebleven.

Ter vergelijking van de drie afnames voor een bepaald schooltype, alsmede van de drie schooltypen op een afnamemoment, zijn variantie-analyses uitgevoerd. De overgebleven aantallen leerlingen waren groot genoeg om met deze analyses, bij een significantieniveau van 0,05 en een power van 0,80, middelmatige effecten ($f=0,25$) aan te tonen (Cohen, 1977).

Tevens zijn voor zowel mavo als havo/vwo met behulp van t-toetsen de resultaten van leerlingen die verschillende leergangen gebruikten vergeleken. Ook hiervoor waren de aantallen leerlingen groot genoeg om bij een significantieniveau van 0,05 en een power van 0,80, middelmatige verschillen ($d=0,50$) aan te tonen (Cohen, 1977).

b. De vragenlijst

De vragenlijst die voor dit onderzoek is ontwikkeld bevat eenvoudige beweringen en redeneringen, waarin natuurkundige aspecten (N) van het onderzeken deeltjesmodel dan wel intuïtieve interpretaties (I) dienaangaande

vertegenwoordigd zijn (zie tabel 1). De vragenlijst bestaat uit 30 items, waarvan twaalf uitspraken en achttien redeneringen. Deze laatste zijn verdeeld over drie contexten, die zodanig zijn gekozen dat:

- ze bij de leerlingen bekend verondersteld mochten worden of in korte bewoordingen te schetsen waren;
- de aspecten van het deeltjesmodel, alsmede intuïtieve interpretaties daarvan, in voldoende en evenwichtige mate in de redeneringen gebruikt konden worden.

De contexten betreffen een aan het uiteinde dichtgesmolten indrukbare spuit met lucht, een kwikthermometer en een pakje boter dat smelt en stolt.

De fysische aspecten zoals die uit de eerder uitgevoerde analyse van leergangen naar voren zijn gekomen, kunnen als volgt omschreven worden:

- N0: Alle materie is opgebouwd uit deeltjes die we moleculen noemen.
- N1: Deze moleculen zijn voortdurend in beweging en botsen. Hoe hoger de temperatuur des te groter is de snelheid van de moleculen.
- N2: Tussen de moleculen is volstrekt lege ruimte. Hoe groter de snelheid van de moleculen, des te groter hun onderlinge afstand.
- N3: De moleculen trekken elkaar aan. Hoe groter de afstand tussen de moleculen, des te kleiner de aantrekking die ze ondervinden.

De intuïtieve interpretaties die naar onze mening gerelateerd zijn aan het onderwezen deeltjesmodel zijn de volgende:

- I0: Materie is te verdelen in deeltjes (brokjes) die we moleculen noemen.
- I1: Deze moleculen (brokjes) hebben dezelfde eigenschappen als de oorspronkelijke macroscopische hoeveelheid stof.
- I1a In een vaste stof staan de moleculen (brokjes) stil. Bij stollen stoppen de moleculen (brokjes) met bewegen. Bij een hogere temperatuur bewegen de moleculen (brokjes) niet sneller maar zijn ze warmer.
- I1b De ruimte tussen de moleculen (brokjes) is niet leeg, maar bijvoorbeeld gevuld met lucht. Of er is in het geheel geen ruimte tussen de moleculen (brokjes); bij uitzetting worden dan de moleculen (brokjes) groter.
- I2 De moleculen (brokjes) trekken elkaar niet aan, maar stoten elkaar juist af.

De punten N0 en I0 zijn niet expliciet in de vragenlijst opgenomen omdat ze door de overige aspecten en interpretaties weerspiegeld worden. De aspecten N1, 2 en 3 zijn elk in twee uitspraken en drie redeneringen verwerkt; interpretatie I1 in vijf uitspraken en zes redeneringen, waarbij I1a en 1b elk in twee uitspraken en twee redeneringen voorkomen; I2 tenslotte wordt door 1 uitspraak en drie redeneringen vertegenwoordigd.

Bij het opstellen van de items is tevens rekening gehouden met de mogelijkheid dat leerlingen geneigd zijn uitspraken en redeneringen die 'natuurkundig' klinken al snel als correct te beoordelen. Daarom wordt in sommige items

Tabel 1: Enkele items uit de vragenlijst (met classificatie)

A. Uitspraken met natuurkundige aspecten.

- * Hoe hoger de temperatuur is, hoe sneller de moleculen van een stof bewegen (N1).
- * In een vloeistof trillen de moleculen om een vaste plaats (N1).
- * In vloeistoffen zitten de moleculen dichter bij elkaar dan in de meeste vaste stoffen (N2).

B. Uitspraken met intuïtieve interpretaties.

- * Wanneer een vaste stof smelt, worden de moleculen van die stof vloeibaar (I1).
- * De moleculen in een blok beton staan stil (I1).
- * Tussen de moleculen van zuivere gassen zit lucht (I1).
- * In gassen stoten de moleculen elkaar af (I2).

C. Redeneringen met natuurkundige aspecten.

- * Wanneer de temperatuur afneemt daalt het kwik, omdat de kwikmoleculen dan langzamer gaan bewegen (N1).
- * Je kunt de zuiger indrukken omdat er veel ruimte tussen de luchtmoleculen is (N2).
- * Je kunt de zuiger indrukken, omdat de luchtmoleculen elkaar sterk aantrekken (N3).

D. Redeneringen met intuïtieve interpretaties

- * Je kunt de zuiger indrukken omdat de luchtmoleculen niet sterk genoeg zijn om dat tegen te houden (I1).
- * In de koelkast wordt de boter weer hard, omdat de moleculen door de kou hard worden (I1).
- * De zuiger schiet terug, omdat de luchtmoleculen weer groter willen worden (I1).
- * De zuiger schiet terug, omdat de luchtmoleculen elkaar afstoten (I2).

een aspect van het onderwezen deeltjesmodel op foutieve wijze gebruikt. Door dit soort 'foutieve N-items' op te nemen is geprobeerd te voorkomen dat leerlingen hoog scoren op de items met aspecten van het onderwezen deeltjesmodel zonder dat zij de betreffende aspecten beheersen.

Bij het beantwoorden van alle gesloten vragen konden de leerlingen kiezen

uit vijf antwoordmogelijkheden te weten: 'goed, ik weet het zeker'; 'goed, ik weet het niet zeker'; 'ik kan niet beslissen of het goed of fout is'; 'fout, ik weet het niet zeker'; 'fout, ik weet het zeker'. De tweede en vierde antwoordmogelijkheid zijn opgenomen op basis van de verwachting dat leerlingen, met name meisjes, daardoor eerder 'goed' of 'fout' durven invullen in plaats van 'kan niet beslissen'.

c. De resultaten

Algemene analyses

Om na te gaan in hoeverre leerlingen uitspraken en redeneringen met betrekking tot het deeltjesmodel op de juiste wijze leren beoordelen is er voor elke leerling een molecuulscore (M) berekend. Deze kwam tot stand door aan elk correct antwoord, ongeacht de mate van zekerheid, één punt toe te kennen. Voor elk schooltype is op elk afnamemoment een gemiddelde M berekend en met behulp van variantie-analyse is nagegaan in hoeverre er verschillen optreden tussen afnamemomenten voor elk schooltype en tussen schooltypen op elk afnamemoment. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Gemiddelde waarden voor de molecuulscore en bijbehorende standaarddeviaties, per schooltype en per afnamemoment, met bijbehorende F, p, df en η^2 waarden.

	lbo		mavo		havo/vwo		Effect van schooltype
	<M>	s	<M>	s	<M>	s	
3 ^e klas juni '89	n=215 15,5	4,2	n=219 19,7	4,4	n=314 23,3	4,3	F=188,4 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,324$
2 ^e klas juni '89	n=270 14,1	4,0	n=197 15,0	5,1	n=289 21,6	3,7	F=268,3 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,418$
2 ^e klas sept '89	n=194 11,5	3,5	n=162 11,7	3,0	n=262 12,5	3,9	F=5,9 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,019$
Effect van afnamemoment	F=56,6 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,143$		F=135,0 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,270$		F=445,2 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,441$		

Vervolgens zijn de items waarin aspecten van het onderwezen deeltjesmodel voorkomen (N-items) gescheiden van die welke intuïtieve interpretaties vertegenwoordigen (I-items). Voor elke leerling is een natuurkunde score (MN)

en een intuïtieve score (MI) berekend. De eerste ontstond wederom door aan elk correct antwoord één punt toe te kennen, de tweede door juist aan elk foutief antwoord één punt toe te kennen. De gedachte achter deze laatste scoreberekening is dat er bij een intuïtieve score alleen een punt dient te worden toegekend wanneer er expliciet voor een intuïtief denkbeeld gekozen wordt.

Voor elk schooltype is op elk afnamemoment een gemiddelde MN en MI berekend (zie tabellen 3 en 4) en met behulp van variantie-analyse is nagegaan in hoeverre er verschillen optreden tussen afnamemomenten en schooltypen.

Tabel 3: Gemiddelde waarden voor de natuurkundescore en bijbehorende standaarddeviaties, per schooltype en per afnamemoment, met de bijbehorende F, p, df en η^2 waarden.

	lbo		mavo		havo/vwo		Effect van schooltype
	<MN>	s	<MN>	s	<MN>	s	
3 ^o klas juni '89	9,7	2,5	10,9	2,2	12,1	2,1	F=68,2 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,152$
2 ^o klas juni '89	8,9	2,4	9,3	2,8	11,5	2,0	
2 ^o klas sept '89	7,8	2,5	7,7	2,4	8,2	2,5	F=3,1 p=0,044 df=2 $\eta^2=0,010$
Effect van afnamemoment	F=32,6 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,089$		F=57,7 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,147$		F=182,3 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,264$		

Conclusies

Hieruit concluderen we dat het onderwijs een positief effect lijkt te hebben op het correct beoordelen van eenvoudige uitspraken en redeneringen. Voor lbo-leerlingen is dit effect vrij klein (± 4 punten, 14% verklaarde variantie), voor mavo-leerlingen iets groter (± 8 punten, 27% verklaarde variantie) en voor havo/vwo-leerlingen nog groter (± 11 punten, 44% verklaarde variantie). De verschillen zijn voor elk schooltype het grootst tussen begin en eind tweede klas (hoewel dit voor het mavo minder duidelijk is). Dit is in overeenstemming met de resultaten van de eerder besproken analyse van leergangen, waaruit onder andere naar voren kwam dat het deeltjesmodel voornamelijk in de boeken voor de tweede klas opgebouwd wordt.

Tabel 4: Gemiddelde waarden voor de intuïtieve score en bijbehorende standaarddeviaties, per schooltype en per afname-moment, met de bijbehorende F, p, df en η^2 waarden.

	lbo		mavo		havo/vwo		Effect van schooltype
	<MI>	s	<MI>	s	<MI>	s	
3 ^o klas juni '89	7,8	2,9	5,2	2,5	3,1	2,2	F=202,8 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,339$
2 ^o klas juni '89	8,6	2,6	7,7	2,8	4,1	2,3	
2 ^o klas sept '89	9,8	2,3	9,3	2,2	8,8	2,1	F=5,5 p=0,004 df=2 $\eta^2=0,017$
Effect van afname-moment	F=21,0 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,060$		F=105,1 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,249$		F=431,7 p=0,000 df=2 $\eta^2=0,452$		

Hoewel in de sociale wetenschappen een effect van 6% verklaarde variantie als middelmatig en een effect van 14% als groot wordt beschouwd (Cohen, 1977), vinden we een toename van 4 op een totaal van 30 te behalen punten als onderwijsresultaat vrij mager. Waar havo/vwo-leerlingen na twee jaar onderwijs hun aantal goede antwoorden vrijwel verdubbelen gaan lbo-leerlingen maar nauwelijks vooruit. Dit laatste is gedeeltelijk te begrijpen doordat de lbo-leerlingen weinig over het aspect krachten tussen deeltjes (N3) geleerd hebben, maar dit vormt uiteraard geen afdoende verklaring.

Zowel voor de MN-score als voor de MI-score lijkt er sprake te zijn van een positief effect van onderwijs. Dit effect is in beide gevallen groter voor leerlingen van een hoger schooltype. Bovendien blijkt voor mavo- en havo/vwo-leerlingen het effect op de beantwoording van I-items groter dan op de beantwoording van N-items.

Hoewel er in de geanalyseerde leergangen nauwelijks aandacht wordt besteed aan bij leerlingen voorkomende intuïtieve interpretaties, lijkt het onderwijs toch een positief effect te hebben op de beantwoording van items die dit soort ideeën vertegenwoordigen. Blijkbaar is het onderwijs met betrekking tot de zuiver natuurkundige aspecten van het deeltjesmodel tevens van invloed op het (niet) kiezen voor intuïtieve interpretaties. Deze conclusie wordt ondersteund door een significant negatieve correlatie tussen de natuurkunde- en intuïtieve scores van mavo- en havo/vwoleerlingen aan het eind van de derde klas.

Verschillen tussen leergangen

Er is ook nader gekeken naar eventuele verschillen tussen leergangen. Met behulp van t-toetsen zijn de gemiddelde resultaten van leerlingen die 'klas-sieke' methoden gebruikten ('Natuurkunde voor nu en straks' in het mavo; 'Elementaire natuurkunde' in het havo/vwo) vergeleken met die van leerlingen die met 'vernieuwende' methoden als 'Natuurkunde in thema's' (in het mavo) of 'DBK-na' (in het havo/vwo) werkten.

Alle significante verschillen ($\alpha=0,05$) in gemiddelde natuurkundescore (MN) bleken steeds in het nadeel van de laatstgenoemde groepen leerlingen uit te vallen. Voor het havo/vwo bedroeg dit verschil $0,35 \sigma$ (eind derde klas), voor het mavo zelfs $0,63 \sigma$ (eind tweede klas) en $0,52 \sigma$ (eind derde klas). Voor de MI-scores gelden soortgelijke resultaten. Dit alles is in tegenstelling met eerder door ons geformuleerde verwachtingen. Ondanks een mogelijk actiever leerproces van deze leerlingen beantwoorden zij eenvoudige vragen met betrekking tot een onderwezen deeltjesmodel slechter dan de overige leerlingen. We hebben hier geen bevredigende verklaring voor.

4. Het kwalitatieve onderzoek

a. Het gebruik van het deeltjesmodel in een eigen argumentatie.

De opzet en uitvoering

De vraagstelling van de open opgave in de vragenlijst, diende aan een aantal eisen te voldoen. Ten eerste moest het voor leerlingen duidelijk zijn dat van hen verwacht werd om in de beantwoording een onderwezen deeltjesmodel te gebruiken. Ten tweede moest de opgave een toepassing van het deeltjesmodel behelzen die niet expliciet in de leergangen behandeld wordt, opdat leerlingen hun natuurkundige kennis combineren met in de vraagstelling geleverde informatie. Tenslotte diende het om een bij leerlingen bekende situatie te gaan, zodat deze niet eerst in de opgave uitgebreid besproken hoefde te worden. Op grond van deze criteria is de volgende vraag opgesteld.

Als water in een sloot bevriest, blijft het ijs op het water drijven. Leg hieronder uit hoe het komt dat het ijs niet naar de bodem zakt. Gebruik hierbij het woord "moleculen".

Vanuit het onderwezen deeltjesmodel kunnen leerlingen alleen spreken over veranderingen in afstanden en snelheden. Zij kunnen echter, om een afdoende deeltjesverklaring te geven, niet volstaan met het idee dat de deeltjes in een vaste stof langzamer bewegen en/of dichter bij elkaar zitten dan in de bijbehorende vloeistof. Zij moeten daarentegen hun kennis over onderlinge afstanden in de verschillende aggregatietoestanden zelf combineren met de in de opgave impliciet gegeven informatie dat ijs een lagere dichtheid heeft dan water (de bijbehorende vloeistof). Binnen het onderwezen deeltjesmodel is

dan een antwoord als het volgende naar onze mening een afdoende verklaring:

De dichtheid van ijs is lager dan die van water, want het blijft drijven, dus moeten de moleculen verder van elkaar verwijderd zijn dan in het water daaronder.

Vanwege de oriënterende aard van dit deelonderzoek en de beschikbare tijd hebben we voor de analyse een gestratificeerde, disproportionele steekproef genomen uit de antwoorden van leerlingen aan het eind van de derde klas: 40 van elk schooltype (totaal 120) en binnen elk schooltype 20 van elke leer-gang, evenredig verdeeld over de scholen. De antwoorden zijn gecodeerd volgens een methode die vergelijkbaar is met de wijze waarop men in het CLIS-Project (Brook, Briggs & Bell, 1983; Brook, Briggs & Driver, 1984) te werk is gegaan. Daarbij zijn vier categorieën gehanteerd, te weten: 'geen antwoord', 'geheel macroscopisch antwoord', 'intuïtieve interpretatie' en 'aspect(en) van het onderwezen deeltjesmodel'.

De resultaten

Uit analyse van de antwoorden bleek dat slechts 28 van de 120 leerlingen aspect(en) van het onderwezen deeltjesmodel in hun verklaring gebruikten. Van deze 28 leerlingen gaven er slechts zeven een afdoende verklaring. Alleen zij gaven duidelijk aan dat er meer ruimte tussen de ijsmoleculen is dan tussen die van het water. De overige 21 antwoordden dat er minder ruimte tussen de ijsmoleculen is dan tussen die van het water, of dat de ijsmoleculen langzamer bewegen dan de watermoleculen.

Meer dan de helft van de leerlingen (70, waarvan drie gedeeltelijk) gebruikten in hun antwoorden intuïtieve interpretaties. Het grootste gedeelte van deze leerlingen (36) kenden in hun antwoord eigenschappen van macroscopische hoeveelheden stof toe aan de deeltjes. Voorbeelden van zulke antwoorden zijn: de ijsmoleculen zijn 'lichter'/'kouder'/'staan stil', of de watermoleculen 'veranderen'/'zetten uit'. Van de overige antwoorden in deze categorie hadden er 15 betrekking op de ruimte tussen deeltjes (bijvoorbeeld 'er zit lucht tussen de ijsmoleculen'/'de ijsmoleculen zitten zo dicht op elkaar dat er geen water doorheen kan') en 12 op krachten tussen of op deeltjes (bijvoorbeeld 'de moleculen van water zijn sterker dan die van ijs').

Zowel voor de categorie 'aspect(en) van het onderwezen deeltjesmodel' als voor de categorie 'intuïtieve interpretaties' is nagegaan in hoeverre er verschillen in beantwoording optraden tussen leerlingen van de drie schooltypen en tussen leerlingen die een vernieuwende dan wel gangbare leergang gebruikten. In geen van deze analyses zijn er significante verschillen gevonden ($\alpha=0,05$).

Conclusies

Na vergelijking met de resultaten van het CLIS-Project bleken de antwoordpatronen globaal overeen te komen. Daarom mogen we, hoewel in dit deelonderzoek de antwoorden op slechts één open vraag geanalyseerd zijn, naar ons idee aannemen dat de resultaten in een groter opgezet onderzoek niet heel anders zouden zijn. In tegenstelling tot de analyse van het gesloten gedeelte van de vragenlijst heeft het deelonderzoek naar de beantwoording van de open vraag geen noemenswaardige verschillen tussen schooltypen opgeleverd. Het aantal antwoorden waarin gebruik werd gemaakt van intuïtieve interpretaties is bovendien groot in verhouding tot de hoogte van de gemiddelde intuïtieve score aan het eind van het derde leerjaar. Dit zou kunnen betekenen dat leerlingen (van een hoger schooltype) weliswaar gedurende een onderwijsperiode (sterker) vooruitgaan in het juist beoordelen van eenvoudige beweringen, maar dat ze in hun eigen argumentaties beduidend meer moeite lijken te hebben om het onderwezen deeltjesmodel inzichtelijk te gebruiken (zie verder).

b. In hoeverre wordt de kennis over deeltjes inzichtelijk gehanteerd en in hoeverre is er ook een modelbegrip gevormd?

De opzet en uitvoering

Om meer inzicht te krijgen in het ontstane inzicht bij leerlingen, is ook een aantal interviews uitgevoerd. Het voordeel van interviews boven vragenlijsten is dat kan worden doorgevraagd, zodat de 'grenzen van het bij leerlingen gevormde weten' kunnen worden afgetast. In hoeverre zijn leerlingen aan het eind van de derde klas in staat om situatie-overstijgend te spreken over deeltjes en modellen in algemenere zin? Daarbij is gekozen voor een hiërarchische opbouw van het interview door te proberen leerlingen stap voor stap mee te voeren vanuit hun eigen ervaring naar de abstractheid van een deeltjesmodel. Wanneer men namelijk in een dergelijk onderzoek direct begint met zeer gerichte vragen over deeltjes, bestaat volgens Pfundt (1981) het gevaar dat men slechts 'lediglijk Wortwissen' oproept en niet tot de dieperliggende voorstellingen doordringt.

Het interview werd derhalve begonnen met een concreet experiment dat door de leerlingen uitgevoerd en beschreven diende te worden. Het experiment betrof het oplossen van een kleurstofkorrel (KMnO_4) in koud en warm water. In eerste instantie werd onderzocht in hoeverre leerlingen reeds in hun spontane beschrijving van de waargenomen verschijnselen gebruik maakten van een deeltjesmodel. Daarna werden hen achtereenvolgens drie series tekeningen voorgelegd (zie figuur 1), die in toenemende mate op een deeltjesbeschrijving wezen.

Vervolgens werd geprobeerd de situatie van het experiment los te laten en

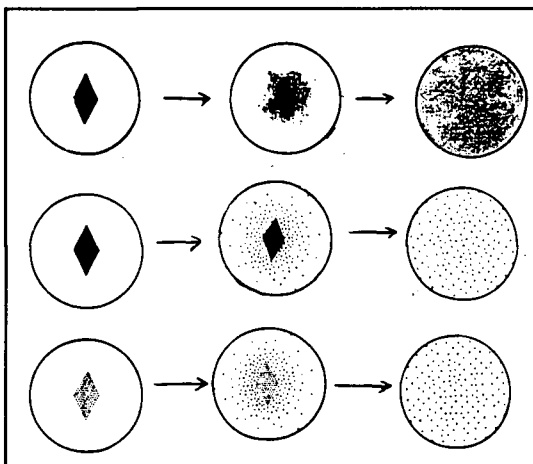


Fig. 1. Drie series tekeningen bij de interviews

een wetenschappelijk model moet voldoen, manieren waarop en redenen waarom het gebruikt wordt?)

na te gaan of leerlingen een deeltjesmodel konden expliciteren. (Hoe stellen zij zich deeltjes voor en welke eigenschappen kennen ze er aan toe?) Tenslotte werd onderzocht of leerlingen ook het modelkarakter van de deeltjestheorie konden interpreteren en of ze enig inzicht hadden in de status van een natuurkundig model. (In hoeverre weten leerlingen iets van voorwaarden waaraan

In juni 1990 zijn zes interviews (twee per schooltype) afgenomen elk met andere leerlingen uit de derde klas. Er werden steeds twee leerlingen tegelijk geïnterviewd om de onderlinge communicatie te bevorderen. De leerlingen zijn steeds door hun eigen docent geselecteerd. Daarbij is gevraagd om twee "gewone" leerlingen (niet speciaal goed of slecht in natuurkunde) die in ieder geval qua prestaties en spontaniteit niet al te veel van elkaar verschilden. Op deze wijze werd geprobeerd te waarborgen dat elke leerling voldoende gelegenheid kreeg om zich vrij te uiten.

De Ibo-leerlingen gebruikten 'Natuurkunde voor nu en straks', de mavo-leerlingen 'Natuurkunde in thema's' en de havo/vwo-leerlingen 'DBK-na'. De interviews duurden 20 tot 40 minuten, zijn opgenomen met behulp van video-apparatuur en werden volledig uitgeschreven in protocollen. Alvorens de resultaten te geven willen we er nogmaals op wijzen dat dit deelonderzoek exploratief van aard is geweest en er dus slechts voorzichtige conclusies geformuleerd kunnen worden

De resultaten

In de helft van de interviews werd spontaan in termen van deeltjes gesproken, maar alleen over die van het water. Dit gebeurde echter zeer beperkt en onafhankelijk van het schooltype. In één van de interviews werd spontaan het aspect 'snelheid' gebruikt en werd bovendien de relatie met de temperatuur gelegd. In een ander interview kwam het aspect 'ruimte tussen deeltjes' ter

sprake. De betreffende leerling beweerde dat 'de kleur in deze ruimte ging zitten' en gebruikte daarbij het woord 'lucht' als synoniem voor 'ruimte'.

In alle interviews met mavo- en havo/vwo-leerlingen werd door hen reeds bij de tweede serie tekeningen een duidelijke deeltjesbeschrijving van het experiment gegeven. De lbo-leerlingen spraken pas bij de derde serie tekeningen (weer) over deeltjes en dit zelfs eerst nadat zij door de interviewer uitdrukkelijk op de in het korreltje getekende puntjes waren gewezen. Sommige leerlingen gaven expliciet blijk van een opvatting van deeltjes als kleine stukjes kleurstof doordat ze er eigenschappen van de korrel aan toekenden. Zij spraken over deeltjes die kleur afgaven en die donkerder of lichter gekleurd waren al naar gelang hun afstand tot de korrel. Het bleef daarbij onduidelijk in hoeverre deze interpretaties door de tekeningen zelf werden opgeroepen.

Alle leerlingen konden vervolgens over de deeltjes zelf spreken. De helft van hen (waaronder de vier lbo-leerlingen) was echter niet in staat het experiment te overstijgen, dat wil zeggen dat zij bleven spreken over de deeltjes van de kleurstof en zich deze voorstelden als kleine stukjes paarse stof. Veel leerlingen gaven aan dat de deeltjes in een vaste stof niet bewegen. Wanneer zij de relatie tussen de snelheid en de temperatuur legden, beschouwden zij daarbij dan ook alleen de verspreiding in het water. De vraag om het experiment met behulp van een deeltjesmodel te beschrijven werd zeer verschillend beantwoord. Kenmerkend voor al deze beschrijvingen was een opvatting van modellen als iets tastbaars.

"(..) een stukje stof, daar zitten echt een heleboel deeltjesmodellen in, die doe je hier in, dat lost op dus al die deeltjesmodellen verspreiden zich (..)"

"Nou ik denk dus eh dat je (..) een kubus hebt (..) dat de vaste stof voorstelt en allemaal (..) losse knikkertjes (..) dat die water eh atomen voorstelt."

In de manier waarop er over het deeltjesmodel en modellen in algemenere zin gesproken werd, waren duidelijk verschillen in schooltype aan te wijzen. Op de vraag hoe natuurkundigen aan zo'n deeltjesmodel komen werd door havo/vwo-leerlingen aangegeven dat men dit uit proeven had afgeleid, terwijl drie van de vier mavo-leerlingen geneigd waren hieraan toe te voegen dat men ze toch ook gezien moet hebben, anders zou men dat niet kunnen weten. De lbo-leerlingen hadden hier ofwel geen idee van of dachten dat natuurkundigen stoffen net zolang gedeeld hebben tot ze bij de molecuul uitkwamen, die nog dezelfde eigenschappen bleek te hebben als de stof waarmee men begonnen was. Alleen de havo/vwo-leerlingen toonden enigszins gevoel voor het idee dat een model een constructie van wetenschappers is. Hoewel ook zij er een

opvatting van modellen als iets tastbaars op na hielden, leken zij iets beter in staat het hypothetische karakter te appreciëren dan de mavo-leerlingen (De Vos, 1985).

Geen van de leerlingen bleek in staat tot de wezenlijke verschillen tussen een deeltjesmodel en andere bij hen bekende modellen door te dringen. Ze begrepen geen van allen waar de interviewer naar toe wilde. Het lukte haar derhalve niet om hen over de status van een natuurkundig model (als gedachtenconstruct) te laten spreken. Evenals Hondebrink (1993) zijn wij van mening dat modellen in de natuurwetenschappen gebruikt worden als nuttige werkhypothesen en dat er over het bestaan van atomen en moleculen niet langer getwijfeld wordt. Het model zelf is echter geen werkelijkheid en er kunnen dus meerdere deeltjesmodellen naast elkaar gebruikt worden. De leerlingen leken hier geen enkel begrip van te hebben.

Voorzichtige conclusies

Uit het antwoordenpatroon van de open vraag over ijs bleek al dat leerlingen in hun eigen argumentaties zeer vaak kiezen voor intuïtieve interpretaties van deeltjes. Dit wordt door de analyses van de interviews nog eens bevestigd. Ook hierin is er wat betreft het gebruik van intuïtieve interpretaties weinig onderscheid gevonden tussen leerlingen van verschillende schooltypen. Dit onderscheid is echter wel duidelijker waarneembaar in de manier waarop er over het deeltjesmodel en modellen in algemenere zin gesproken werd. Vooral de lbo-leerlingen hadden er moeite mee om situatie-overstijgend over deeltjes te spreken en alleen de havo/vwo-leerlingen leken enigszins het modelmatige karakter van een deeltjestheorie te begrijpen. Dit laatste zou gedeeltelijk terug te voeren kunnen zijn op de uitgebreide aandacht die er in de DBK-methode wordt besteed aan het ontwikkelen en functioneren van een model.

5. Algemene conclusies en discussie

Uit het onderzoek met de gesloten vragenlijst is, ten aanzien van eenvoudige vragen over moleculen op reproductieniveau, een duidelijk onderscheid in leerwinst naar voren gekomen tussen leerlingen van verschillende schooltypen. Terwijl havo/vwo-leerlingen de vragenlijst aan het eind van de derde klas beduidend beter beantwoordden dan aan het begin van de tweede klas, gingen lbo-leerlingen slechts weinig vooruit. Opmerkelijk is daarbij dat, hoewel er in de door hen gebruikte leergangen niet of nauwelijks aandacht wordt besteed aan eventuele intuïtieve ideeën van leerlingen, er aan het eind van de derde klas toch minder voor dit soort ideeën werd gekozen dan aan het begin van de tweede klas.

Op produktieniveau, in de open vraag en de interviews, bleek het gebruik

van intuïtieve interpretaties echter dominant. Daarbij bleek het onderscheid tussen schooltypen vrijwel te verdwijnen. Dit onderscheid kwam wel weer sterker naar voren in de mate waarin leerlingen 'contextloos' konden spreken over deeltjes en modellen zelf. Dit ging de betrokken leerlingen van een hoger schooltype beter af.

Ten aanzien van het gebruik van verschillende leergangen, dus ten aanzien van de gebruikte didactiek, lijken de uitkomsten er op te wijzen dat 'klas-sieke' leergangen op reproductieniveau tot een beter resultaat leiden. Op produktieniveau kunnen we hierover geen uitspraak doen.

Hoe moeten we deze uitkomsten nu interpreteren? Ten aanzien van lbo-leerlingen is dit relatief eenvoudig. Alle uitkomsten wijzen er op dat het onderwijs over deeltjes voor deze categorie weinig tot niet succesvol is. Zelfs op het niveau van reproductie van eenvoudige uitspraken is er nauwelijks sprake van vooruitgang. Voorzover er door hen gesproken wordt over deeltjes, is dit volledig in termen van 'brokjes'; een modelbegrip wordt niet gevormd. Dit vraagt ons inziens om een herwaardering van het onderwijs over deeltjes voor deze categorie leerlingen. Het doel van de gebruikte leergangen lijkt immers veel verder te gaan dan wat bereikt lijkt te worden.

Maar wat te concluderen ten aanzien van de resultaten bij havo/vwo-leerlingen? Men zou kunnen zeggen dat de resultaten erop wijzen dat voor hen het reproductieve niveau van eenvoudige toepassing bevredigend wordt bereikt. Maar dat ze bij nieuwe produkties neigen terug te vallen op intuïtieve interpretaties. Natuurlijk mogen we aan de kleinschalige en oriënterende deelonderzoeken (open vraag en interviews) geen generaliserende conclusies verbinden. Toch wijzen ze in de genoemde richting. Deze interpretatie leidt dus tot de constatering dat havo/vwo-leerlingen de benodigde 'kennis al wel hebben', maar nog niet in nieuwe situaties kunnen gebruiken. Dan laten ze zich weer grotendeels leiden door hun intuïties. Een interpretatie die men in de literatuur over soortgelijk onderzoek veel tegenkomt.

Er is echter ook een andere interpretatie mogelijk. De voorgaande zou immers impliceren dat havo/vwoleerlingen als het ware twee denkwijzen zouden gebruiken, waarbij het van de situatie afhangt welke. Alhoewel dit niet onmogelijk is, betekent dit ook dat we leerlingen op deze manier als inconsistente denkers interpreteren. Klaassen (1993) wijst er op dat zo'n interpretatie meestal onrecht doet aan wat leerlingen werkelijk bedoelen. Hij geeft aan dat men als onderzoeker (en ook als docent) altijd moet proberen leerlingen zo consistent mogelijk te begrijpen. Als we deze richtlijn op ons onderzoek toepassen, dan mogen we dus niet concluderen dat leerlingen in de vragenlijst het 'goede' deeltjesmodel hanteren en in de open vragen 'terugvallen' op primitievere noties, maar moeten we ervan uitgaan dat

leerlingen in beide deelonderzoeken vanuit eenzelfde optiek antwoorden. Dit betekent dat we de resultaten van onze gesloten vragenlijst moeten herinterpreteren. Dit kan inderdaad als we bedenken dat de meeste gesloten vragen, bij nader inzien, indifferent zijn voor de vraag of leerlingen denken in termen van 'deeltjes' of 'brokjes'. Immers in de meeste vragen wordt gesproken over moleculen, maar de betekenis van dit woord speelt verder geen rol. Uit de toename van 'correcte' beantwoordingen, zouden we automatisch kunnen concluderen dat de leerlingen de term moleculen zijn gaan gebruiken in de door het onderwijs bedoelde betekenis. Het is echter ook heel goed mogelijk, en in het licht van de open vragen zelfs waarschijnlijk, dat dit niet het geval is. Dat ook de meeste havo/vwo-leerlingen wel veel bijgeleerd hebben over de eigenschappen van 'brokjes', maar in essentie de term 'molecuul' of 'deeltje' nog steeds als resultaat van een verdelingsproces interpreteren. Als dat het geval is, dan kunnen we niet anders dan concluderen dat ook voor havo/vwo-leerlingen het onderwijs over 'deeltjes' zijn nagestreefde doel niet heeft bereikt. De sprong naar 'deeltjes' als hypothetisch en abstract gedachtenconstruct, dat aan bepaalde eigenschappen moet voldoen, en waarmee vervolgens verschijnselen consistent beschreven worden, wordt niet gemaakt. Wellicht is dit te wijten aan didactische onderschatting van dit probleem en aan een daarom nog onvoldoende uitgewerkte, daarop gerichte didactiek. Anderen hebben in het verleden, juist ten aanzien van de bedoelde abstracte modelvorming, gewezen op de beperking van de Piagetaanse niveaus (Shayer en Adey, 1981). Alhoewel de Piaget-theorie de laatste jaren veel aan populariteit heeft verloren (zelfs zou de niveautheorie onhoudbaar zijn geworden), zou de abstractheid van de noodzakelijke modelsprong voor de leeftijdscategorie van dit onderzoek weleens te veel gevraagd kunnen zijn. Ook voor vwo-leerlingen.

Eén en ander vraagt derhalve tot herbezinning op de behandeling van dit onderwerp in de basisvorming. Wat heeft men daarbij precies voor ogen? Wat is een haalbaar en zinvol niveau van begripvorming? Blijkbaar is men er van overtuigd dat alle leerlingen, ook zij die na de derde klas geen natuurkunde- of scheikunde-onderwijs meer zullen volgen, in ieder geval moeten weten dat materie uit moleculen en atomen bestaat. Maar wat moeten leerlingen zich dan daarbij voorstellen? Kan een onderwerp als "bouw der materie" wel op een meer inzichtelijke wijze (die verder gaat dan reproductie) in de onderbouw behandeld worden? Zijn leerlingen van deze leeftijd wel in staat om boven het niveau van 'deeltjes als resultaat van een verdeling' uit te stijgen? En hoe 'fout' is eigenlijk het idee van deeltjes als kleine stukjes stof? Dit idee wordt zelfs in de materiaalkunde nog gebruikt (Miedema, 1990). Misschien is het ook in de schoolnatuurkunde een bruikbaar model dat

kan dienen als tussenstap naar latere molecuul- en atoommodellen. Maar dan moet het wel bewust als zodanig gebruikt worden.

Literatuur

- 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 (1983). *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.
- Cohen, J. (1977). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Academic Press.
- Hondebrink, J. (1993). Commentaar. Moleculen: moeilijker dan men denkt. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 11, 50-52.
- Klaassen, C.W.J.M. (1993). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity*, (voorlopige titel proefschrift). Utrecht: CD- β -Press.
- Miedema, A.R. (1990). Legeringen: gemengde blokken. *Natuur en Techniek*, 58, 38-49.
- 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.
- Shayer, M. & Ph. Adey (1981). *Towards a Science of Science Teaching. Cognitive development and curriculum demand*. Londen: Heinemann Educational Books.
- Vollebregt, M.J. & P.L. Lijnse (1992). Het onderwerp 'bouw der materie' in een aantal Nederlandse onderbouw natuurkunde-leergangen nader bekeken. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 10, 156-177.
- Vos, W. de (1985). *Corpusculum Delicti*. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht.