

Opsporen van Misconcepties bij Middelbare Scholieren

Henk Schmidt, Gerard Spaaij en Willem de Grave

Vakgroep Onderwijsontwikkeling en Onderwijsresearch, Rijksuniversiteit Limburg

ABSTRACT

In two experiments, a method was tested for discovering misconceptions in students' knowledge and ideas about science subject-matter as taught in secondary school. The method consists of presenting small groups of students with a description of a set of natural phenomena. They are requested to produce as many explanations as possible for these phenomena and discuss these explanations critically. The discussions were audiotaped and verbatim protocols were screened for misconceptions. The method appeared to be successful. In Experiment 1 on osmosis, twelve qualitatively distinct misconceptions were uncovered. Experiment 2, on the behavior of a plane taking off, unraveled three misconceptions concerning aerodynamics. In both experiments, performances of novices and experts were compared. Only in the case where the subject-matter was explicitly part of the curriculum of the experts (osmosis), clear differences between novices and experts could be observed. Because differences in performance between novices and experts on the aerodynamics problem were largely absent, it is suggested that subjects have a poor ability to elaborate on relevant knowledge available in memory if they do not recognize a problem as a special case of something else. In addition to characteristics reviewed from the literature, three other attributes of misconceptions emerged from the experiments. First, misconceptions seem to be often not just available in memory for use when appropriate, but are actively constructed in response to a novel situation. Second, misconceptions appear to be highly metaphorical in nature. And third, while constructing a misconception, students tend to be mainly sensitive to the perceptual aspects of a situation.

Unlearning of preconceptions might prove to be the most determinative single factor in the acquisition and retention of subject-matter knowledge.

Ausubel, Novak en Hanesian (1978, p. 372)

De kennis die een leerling in eerdere leersituaties heeft opgedaan, lijkt in belangrijke mate te bepalen wat die leerling in daaropvolgend onderwijs nog leren kan en daarmee op zijn of haar leerprestaties. Voorkennis blijkt in veel onderzoek verantwoordelijk voor ongeveer 30 tot 60% van de variantie in leerprestaties. Zo rapporteert Lodewijks (1981) dat voorkennis in een door hem uitgevoerd onderwijsexperiment 36% van de variantie op een natoets verklaarde. Weeda (1982) vindt in één van de condities van zijn onderzoek een correlatie van 0,82 tussen de resultaten op een voortoets en die op een natoets (gelijk aan 67,8% verklaarde variantie). In eigen onderzoek waarin voorkennis bij leerlingen door middel van groepsdiscussie geactiveerd werd, verklaarde deze manipulatie 24% van de variantie in de data (Schmidt, 1984).

Uit laboratoriumonderzoek naar dit fenomeen, kan worden afgeleid dat voorkennis zo'n sterke invloed op het leren uitoefent omdat het een kader verschaft waarbinnen nieuwe informatie betekenis gegeven kan worden (Bransford & Johnson, 1972, Pichert & Anderson,

De auteurs spreken hun dank uit aan Jos Moust, Maurice en Rita de Volder, Bert Kerkhofs, Irma Kokx, Els Boshuizen, Jan Beliën, Herman Nuy en de grote groep student-assistenten betrokken bij het onderzoeksproject 'Cognitieve en motivationele effecten van probleemgestuurd onderwijs', voor hun hulp en advies bij het voorbereiden en uitvoeren van de gerapporteerde experimenten.

Adres: Rijksuniversiteit Limburg, Postbus 616, 6200 MD Maastricht.

1977). Bestaande cognitieve structuren bieden aanknopingspunten voor de nieuwverworven informatie; de mate waarin nieuwe kennis in al aanwezige geïntegreerd kan worden, bepaalt hoeveel er geleerd wordt.

Voorkennis heeft echter niet in alle gevallen een positieve invloed op het leren, het openingscitaat van Ausubel et al. (1978) verwijst daar al naar. In sommige gevallen, en met betrekking tot sommige onderwerpen, houden leerlingen er ideeën op na die hen in feite hinderen bij het begrijpen van nieuwe informatie. Veel geciteerd is bijvoorbeeld dat nogal wat mensen de impliciete opvatting huldigen dat in een bewegend voorwerp een kracht aanwezig is die dat object als het ware 'voortbeweegt', terwijl dat volgens de mechanica theorie van Newton onjuist is (Clement, 1982; Driver & Easley, 1978).

Over deze onjuiste impliciete kennis, 'naïve theorieën' of *misconcepties*, handelt deze bijdrage. Eerst zal een overzicht worden gegeven van opvattingen over het ontstaan van *misconcepties*, hun kenmerken en de oorzaken voor hun hardnekkigheid. Daarna zal een relatief nieuwe methode gepresenteerd worden waarmee *misconcepties* van leerlingen in een klassesituatie kunnen worden opgespoord: het probleemgestuurde groepsgesprek. Deze methode zal vervolgens gecontrasteerd worden met twee bestaande procedures. Tenslotte zullen resultaten van twee experimenten naar de bruikbaarheid van die aanpak worden besproken.

ONTSTAAN, KENMERKEN EN INSTANDHOUDING VAN MISCONCEPTIES

Piaget (1954) is wellicht de eerste geweest, die erop gewezen heeft dat mensen al op zeer jonge leeftijd verklaringen ontwikkelen voor verschijnselen om zich heen, verklaringen die strijdig kunnen zijn met wetenschappelijk geaccepteerde verklaringen. Zo wijten kinderen onweer vaak aan het op elkaar botsen van wolken, waarschijnlijk omdat hun eigen ervaringen met donderend lawaai zich beperken tot het tegen elkaar botsen van voorwerpen. DiSessa (1983) schrijft het ontstaan van deze verklaringsmodellen toe aan het streven van de mens de wereld rondom hem te ordenen op een wijze die hem in staat stelt de verschijnselen die zich aan hem voordoen een zinvolle betekenis te geven. Deze ordeningsbehoefte heeft een 'survival value', omdat mensen door betekenisgeving in staat gesteld worden op een adequate wijze te reageren op veranderingen die zich in hun wereld voordoen. Volgens Hunt (1971) bezitten mensen een intrinsieke behoefte om incongruentie tussen kennis die ze hebben van hun omgeving en uit die omgeving binnenkomende informatie op te heffen. Menselijke cognitie is er dus op gericht theorieën te construeren ter verklaring van de verschijnselen die worden waargenomen.

Afgaande op de aard van het verrichte onderzoek naar *misconcepties* zou haast geconcludeerd moeten worden dat die zich voornamelijk beperken tot onjuiste opvattingen over natuurverschijnselen¹. Het merendeel van het onderzoek vindt plaats in het domein van de natuurwetenschappen en richt zich vooral op ideeën die leerlingen erop na houden met betrekking tot verschijnselen als beweging, energie en zwaartekracht (Clement, 1979; Driver, 1973; Driver & Easley, 1978; Green, McCloskey & Caramazza, 1980; Gunstone & White, 1981; Lebouttet-Barrel, 1976; Vionnet, 1979). Een enkele auteur houdt zich met biologische onderwerpen bezig, zoals natuurlijk selectie (Brumby, 1984). Op zichzelf is deze belangstelling wel begrijpelijk, omdat juist op deze terreinen wetenschappelijke opvattingen zich sterk verwijderen van intuïtieve, zeg maar naïve, ideeën.

Misconcepties worden in de literatuur meestal betrekkelijk vaag en algemeen besproken; een heldere definitie ontbreekt veelal. Auteurs beperken zich vaak tot het geven van voorbeelden. Niettemin zijn er uit die voorbeelden toch wel enkele steeds terugkerende kenmerken van *misconcepties* af te leiden.

¹) In werkelijkheid houden mensen er natuurlijk misvattingen op na op zowat alle terreinen des levens. Voorbeelden van *misconcepties* omtrent de oorzaken van eigen en andermans gedrag levert het sociaal-psychologische attributieonderzoek.

- misconcepties ontwikkelen zich in een zeer vroeg stadium van iemands ontwikkeling, nog voordat formele instructie heeft plaatsgevonden,
- misconcepties ontwikkelen zich op basis van praktische ervaringen die de betrokkene met de betreffende verschijnselen opdoet,
- misconcepties wijken af van wetenschappelijk aanvaarde verklaringsmodellen,
- misconcepties hebben een betrekkelijk consistent karakter in de verschillende bevolkingsgroepen, leeftijdscategorieën en nationaliteiten; ze kunnen min of meer beschouwd worden als universalia,
- misconcepties zijn weinig gedifferentieerd van karakter, en
- misconcepties zijn stabiel en daardoor moeilijk te wijzigen. Champagne, Gunstone en Klopfer (1983) noemen als belangrijkste reden daarvoor dat dezelfde misconcepties in heel verschillende kennisgebieden een rol spelen.

Misconcepties kunnen dus beschouwd worden als concrete uitingvormen van dieperliggende – wellicht meer abstracte – cognitieve structuren, die niet domeinspecifiek zijn, maar in belangrijke mate ons perspectief zouden structureren op de werkelijkheid als geheel. Deze fundamentele opvattingen omtrent de werkelijkheid ontstaan min of meer ‘spontaan’, en in een vroeg stadium, in de dagelijkse omgang met de dingen, en zijn in strijd met wetenschappelijke conceptualisering van diezelfde werkelijkheid. De schijnbare resistentie van misconcepties tegen informatieoverdracht zou volgens deze redenering voortvloeien uit het feit dat de bestrijding van concrete misconcepties hun dieperliggende basis onaantast laat. Een andere veel genoemde reden voor de stabiliteit van sommige misconcepties is het feit dat ze goed voldoen in het dagelijks leven van degene die ze bezit (Viennot, 1979). Waarom zou je je druk maken over het feit dat een veer en een steen dezelfde valsnelheid hebben, als in de werkelijkheid de veer (als gevolg van de luchtweerstand) de aarde later bereikt dan de steen. Een laatste reden die wordt aangevoerd voor de persistentie van misconcepties is dat de betrokkene zich niet bewust is van de ongerijmdheid van zijn ideeën met hoe de werkelijkheid in elkaar zit (Cohen, 1984).

METHODEN VOOR HET OPSPOREN VAN MISCONCEPTIES

Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn dat een docent er in zijn onderwijs verstandig aan doet rekening te houden met de naïeve theorieën die zijn leerlingen erop na houden, wil hij cognitieve verandering tot stand brengen. Daarbij kan het van belang zijn dat hij weet *welke* misconcepties er vigeren over het onderwerp dat hij wil gaan behandelen. In de literatuur worden twee methoden beschreven om misconcepties op te sporen.

De eerste is die van het diepteinterview van één enkele of een paar studenten. De geïnterviewde krijgt daarbij meestal één of meer opgaven voorgelegd waarover hij gevraagd wordt *hardop* na te denken. De interviewer beperkt zich tot het stellen van verhelderende vragen (Gentner & Stevens, 1983; Nussbaum & Novak, 1976; Osborne & Gilbert, 1980).

Deze methode levert meestal wel gedetailleerd inzicht op omtrent de aard van de betreffende misconceptie, maar lijkt nauwelijks geschikt om een mogelijke *diversiteit* aan opvattingen binnen een groep op te sporen omdat veelal slechts een beperkt aantal proefpersonen ondervraagd wordt; noch lijkt ze erg bruikbaar voor toepassing in de praktijk van het onderwijs, omdat ze erg arbeidsintensief is. De tweede methode maakt gebruik van meerkeuze items. Proefpersonen worden daarbij geconfronteerd met opgaven, ieder voorzien van een aantal antwoordmogelijkheden. Misconcepties die in de onderzochte groep leven, worden daarbij als afleiders gepresenteerd (Doran, 1972; Strike & Posner, 1982). Alhoewel deze aanpak het in principe mogelijk maakt op een eenvoudige wijze grotere groepen leerlingen te onderzoeken, heeft ze ook een voor de hand liggend nadeel: de onderzoeker zal nooit andere misconcepties op het spoor komen dan die welke hij van te voren zelf al heeft bedacht.

In deze bijdrage wordt een methode van probleemanalyse in kleine groepen gepresenteerd en geëvalueerd, die docenten (en onderzoekers) kan helpen om gedetailleerd de misvattingen die er in een groep leerlingen leven, op te sporen. De veronderstelling daarbij is, dat via een probleemgestuurde discussie op een meer efficiënte wijze informatie kan worden verzameld over binnen een leeftijdsgroep levende onjuiste opvattingen dan met de bestaande methoden mogelijk is: groepsgewijze afname omzeilt de beperkingen die kleven aan individuele interviews, terwijl vrije discussie over een probleem misconcepties aan het licht kan brengen waaraan onderzoeker of docent niet al van te voren hebben gedacht. Daarmee lijken in principe de voordelen van beide bestaande methoden te worden gecombineerd, zonder de nadelen mede over te erven.

In twee experimenten is geprobeerd een indruk te krijgen van de bruikbaarheid van deze nieuwe aanpak. In die experimenten werd aan groepjes middelbare scholieren een verzameling natuurverschijnselen voorgelegd met als opdracht via discussie zoveel mogelijk verklaringen voor die verschijnselen te bedenken. Deze discussies werden op geluidsband opgenomen, en met behulp van protocolanalyse werden concepties opgespoord die deze leerlingen hebben van processen, principes of mechanismen die aan de verschijnselen ten grondslag liggen. Zowel leerlingen zonder, als leerlingen met specifieke voorkennis werden onderzocht. Deze groepen worden hier voor het gemak novieten en gevorderden genoemd; al zal straks blijken dat een dergelijk onderscheid soms wat al te eenvoudig is. Doel daarvan was, na te gaan in hoeverre de voorgestelde methode sensitief is voor de invloed van onderwijs. Immers, van gevorderden in een bepaald kennisdomein mag verwacht worden dat zij minder, en minder eenvoudige misconcepties in dat domein ten toon spreiden. De gevoeligheid van de gevolgde methode voor dergelijke verschillen kan beschouwd worden als een maat voor zijn validiteit.

Een tweede variabele die wellicht het vóórkomen van misconcepties in een bepaalde groep beïnvloedt, is de mate waarin de gevorderden gedurende het onderwijs expliciet in aanraking gekomen zijn met een bepaald onderwerp. Binnen de beperkte tijd die een onderwijsprogramma biedt, kan immers slechts aan bepaalde onderwerpen aandacht gegeven worden. Men veronderstelt dan dat het begrijpen van verwante onderwerpen door middel van transfer wordt gerealiseerd. Voor Experiment 1 werd daarom een biologisch onderwerp gekozen dat expliciet deel uitmaakt van het VWO-curriculum; voor Experiment 2 een aerodynamisch onderwerp, dat daarvan geen deel uitmaakt, maar waarvoor relevante kennis uit andere vakgebieden kan worden afgeleid.

EXPERIMENT 1

Misconcepties met betrekking tot osmose en diffuse

Methode

Proefpersonen. Proefpersonen waren 22 derdeklassers en 21 vierdeklassers van een atheneum in Maastricht. Gemiddelde leeftijd van de derdeklasse scholieren was 14,9 jaar; die van de vierdeklassers 16,1 jaar. De scholieren uit de derde klas hadden geen specifieke kennis van osmose en diffusie, alhoewel ze de beschikking hadden over algemene biologische kennis, waaronder globale kennis van de structuur van cellen. Ze worden hier verder novieten genoemd. De vierdeklassers hadden het onderwerp enige weken daarvoor gehad; zij waren de gevorderden in dit onderzoek. De scholieren ontvingen een vergoeding voor hun medewerking.

Materiaal. Het materiaal bestond uit een beschrijving van het volgende probleem: 'Een rode bloedcel (een rood bloedlichaampje) wordt onder een microscoop in zuiver water gebracht. De bloedcel zwelt in korte tijd op en springt uiteindelijk kapot. Een andere bloedcel wordt in een oplossing van zout in water gebracht. Hij schrompelt ineen. Hoe zijn deze verschijnselen te verklaren?'

Procedure. Novieten en gevorderden werden binnen hun eigen conditie aselekt in zes kleine groepen van ongeveer gelijke grootte ondergebracht. Aan elk van deze groepen werd een proefleider toegewezen. Deze legde kort uit wat er van de proefpersonen verlangd werd, aan de hand van een voorbeeld. Dit voorbeeld bestond uit een beschrijving van het gedrag van een plant die zuurstof afgeeft bij daglicht, maar niet in het donker. In een uit 400 woorden bestaande toelichting werd dit fenomeen geanalyseerd vanuit verschillende perspectieven en werd een aantal mogelijke verklaringen besproken. De proefleider betrok de scholieren actief bij zijn uitleg om er zeker van te zijn dat zij begrepen wat er straks van hen verlangd zou worden bij de analyse van het bloedcelprobleem. Hij benadrukte dat van hen verwacht werd verklaringen te bedenken voor het probleem en die verklaringen kritisch te bediscussiëren. Ze werden aangemoedigd alles wat er bij hen opkwam naar voren te brengen.

Deze introductie nam 5 tot 10 minuten in beslag. Vervolgens kregen de scholieren 15 minuten om verklaringen te bedenken voor het bloedcelprobleem. De proefleider fungeerde daarbij als gespreksleider, die de verschillende ideeën van tijd tot tijd samenvatte. Hij of zij had de opdracht te vermijden er een socratisch leergesprek van te maken. Er werd verwacht dat hij of zij op non-directieve wijze de productie van zoveel mogelijk verschillende ideeën aanmoedigde. De discussie werd op band opgenomen. De opname vormde de basis voor het onderzoek naar misconcepties, maar werd ook gebruikt om te kunnen controleren of de proefleider geen informatie over het probleem verschaft. De geluidsbanden werden na afloop uitgetypt. De resulterende protocollen vormden de basis voor de analyses. Geen van de groepen had meer dan 10 minuten nodig voor de analyse van het probleem (Minimum: 8 minuten).

Resultaten en discussie

Doel van het onderzoek was inzicht te krijgen in de aard van de verklaringen die novieten en gevorderden geven voor het bloedcelprobleem. Daartoe werden de protocollen van de discussies onderzocht op (partiële) verklaringen voor het gedrag van de bloedcel. Twee representatieve excerpten laten zien op welke wijze verklaringsmodellen in de protocollen verschijnen. Het eerste fragment is afkomstig uit een novietengroep, het tweede uit een groep met gevorderden².

Proefleider (P): 'Tja, wil iemand daar wat over zeggen?' (stilte gedurende enige seconden) 't Is moeilijk, he.'
Proefpersoon 1 (Pp1): 'Ja, het enige wat ik weet is dat er twee bloedlichaampjes zijn, een rode en een witte, he.'

²) Om de uitlatingen van de leerlingen in het betreffende experiment op hun waarde te kunnen schatten, is het wellicht nuttig een korte uitleg te verschaffen over het osmotisch proces dat aan het zwellen, barsten en krimpen van de bloedcel ten grondslag ligt. Als twee oplossingen van zout in water zijn gescheiden door een halfdoorlaatbare wand (of semipermeabele membraan), zullen de watermoleculen, als gevolg van de brownse beweging, vrij door de membraan heen bewegen, terwijl de zoutmoleculen er niet doorheen kunnen. Als de concentraties aan beide zijden van de membraan van elkaar verschillen, zal meer water van de kant van de kleinere concentratie vloeien naar de kant van de grotere concentratie dan omgekeerd, totdat beide concentraties gelijk zijn. Op moleculair niveau kan dat als volgt begrepen worden door een semipermeabele membraan voor te stellen waartegen, op elk moment en aan beide zijden, 100 moleculen botsen. Als aan één zijde 80 water- en 20 zoutmoleculen botsen, en aan de andere kant 50 water- en 50 zoutmoleculen, dan zal een netto hoeveelheid van 30 watermoleculen naar één kant vloeien totdat beide concentraties gelijk zijn. Daarom zal, wanneer een bloedcel met een concentratie equivalent 0,9 percent zout in zuiver water geplaatst wordt, osmose optreden in de richting van de cel. De cel zwelt daardoor op. En omdat in zuiver water geen equilibrium tussen concentraties in en buiten de cel bereikt kan worden (en omdat een bloedcel – in tegenstelling tot een plantencel – geen wand bezit die een tegendruk – turgor – uitoefent) barst hij uiteindelijk. Het krimpen wordt veroorzaakt door osmose van water uit de cel.

P: 'Ja.....'

Pp1: 'Dat was het enige.'

P: 'En hier gaat het blijkbaar over een rood bloedlichaampje; één van die twee. Kan iemand uitleggen wat ermee gebeurt?'

Pp2: 'In zout, daar droogt 'ie misschien uit.'

P: 'Ja...'

Pp2: 'Dat het daarom krimpt.'

P: 'Ja, je zegt...'

Pp2: 'Zout onttrekt... eh... onttrekt vocht, want dat is ook als je bijvoorbeeld een wijnvlek in een tafelkleed of zoiets hebt, dan gooi je er gelijk zout op, en dat neemt dat dan op, dus gaat het uit het tafellaken. Dus ik denk dat dan (...) bij het bloedlichaampje, als het in het zout is dat het zout ook het bloed onttrekt aan de bloedcel, en dat die daarom inkrimpt.'

[Excerpt uit PROTOCOL Novieten 3 (N3), illustratie van misconceptie 8, zie tabel 1]

Het volgende, constrasterende, fragment is afkomstig van een groep gevorderden.

Proefleider: 'Nou Roland, begin maar.'

Pp1: 'Als de bloedcel in zuiver water wordt gebracht, dan zit in de bloedcel een grotere concentratie zout dan in het water en diffundeert het water in de cel. Om de concentratie een beetje gelijk te krijgen; de concentratie in de bloedcel en in het water, daardoor zwelt hij op. De bloedcel heeft ook geen celwand; daarom springt 'ie kapot als hij teveel opzwelt. En als een rode bloedcel in een oplossing van zout in water wordt gebracht, dan zit in het water meer zout dan in de bloedcel, dan is daar de concentratie groter, dan diffundeert water uit de bloedcel en schrompelt hij in elkaar.'

[PROTOCOL Gevorderden 1 (G1)]

In tabel 1 zijn de voornaamste verklaringen samengevat die door novieten gegeven werden.

Nadere analyse van de geproduceerde verklaringen leidt tot de volgende tentatieve conclusies:

De meeste misconcepties worden slechts één of twee keer genoemd. Er is dus sprake van een aanzienlijke variatie in opvattingen omtrent de oorzaken van het gedrag van de bloedcel binnen en tussen de groepen.

De novieten hebben de neiging het bloedcelprobleem op te delen in kleinere eenheden en vervolgens verklaringen te bedenken die alleen maar van toepassing zijn op die kleinere eenheden. Ze concentreren zich bijvoorbeeld exclusief op het opzwellen van de cel en bedenken dan dat dat wellicht verklaard kan worden door aan te nemen dat de cel minuscule sponsjes bevat. Of de cel is maar alléén in een waterige omgeving en moet daarom teveel vocht opnemen waardoor hij noodzakelijkerwijze barst. Blijkbaar heeft het probleem voor de novieten een niveau van complexiteit waar ze niet goed mee overweg kunnen. Ze reduceren daarom het probleem tot een omvang die wel hanteerbaar lijkt. De gevorderden daarentegen passen een oplossingstrategie toe die eruit bestaat een theorie te construeren die de verschillende fenomenen met behulp van één of twee principes verklaart, zie het hierboven weergegeven fragment. Deze bevinding komt overeen met resultaten van onderzoek naar het oplossen van medische diagnostische problemen, waarin bleek dat middelmatig ervaren medische studenten een beschrijving van klachten en symptomen van een patiënt opdeelden in afzonderlijke klachten en voor elk van de klachten 'minitheorietjes' ontwierpen, terwijl experts zochten naar concepten die de klachten in onderlinge samenhang konden verklaren (Boshuizen, Schmidt & Coughlin, 1987). Overigens is er onder de novieten een bewustzijn van de beperkingen van hun verklaringen. Ze stuiten in hun conversaties regelmatig op onverklaarbare zaken zoals:

Tabel 1

Naïeve concepties van de processen die aan het bloedcelprobleem ten grondslag liggen

Opzwellen

1. De cel is gevuld met kleine sponsjes die het water opzuigen
2. De cel neemt water op door onbekend mechanisme omdat de wand poreus is. Echter, de wand bevat kleppen die verhinderen dat het water er weer uitkomt
3. Rode bloedcellen vervoeren zuurstof. Cel onttrekt zuurstof aan het water en zwelt op
4. De cel bevat in vocht opgelost zout. De oplossing oefent druk uit op de wand groter dan de tegendruk die door zuiver water wordt uitgeoefend
5. De inname van water zet een onbekende chemische reactie in de cel op gang

Barsten

6. Bloedcellen nemen gewoonlijk slechts kleine hoeveelheden vocht op, omdat in het menselijk lichaam veel cellen aanwezig zijn. In dit voorbeeld is er maar één cel, die teveel water moet opnemen
7. Levende objecten hebben maar een beperkte levensduur

Inkrimpen

8. Water of ander vocht worden aan de cel onttrokken door de hygroscopische (wateraantrekkende) eigenschappen van het zout
9. Zout water oefent een grotere druk uit op de celwand dan de inhoud van de cel
10. Zout tast de wand aan door de moleculen van de wand te beschadigen. De cel gaat lekken
11. Het zout gaat de cel in en vreet de cel van binnen aan

Opzwellen en inkrimpen in combinatie

12. De cel bevat zout dat water aan de omgeving onttrekt vanwege zijn hygroscopische eigenschappen. Als het water in de omgeving echter een hogere concentratie zout bevat, dan zal vocht aan de cel onttrokken worden

Pp1: '...Maar gewoon, als je eet en zo, dat... daar zit ook zout in. Dat komt ook allemaal in het bloed en... dat 't dan in het lichaam niet.. niet doet...' [noot auteurs: bedoeld wordt: dat bloedcellen in het lichaam niet ineenschrompelen ondanks de aanwezigheid van zout.]
[PROTOCOL N3].

Ten derde suggereren de gegevens dat de concepties die door de novieten geproduceerd worden, grotendeels op algemene wereldkennis en prewetenschappelijke ideeën gebaseerd zijn, getuige het intensieve gebruik van metaforen, als ballonnen die worden opgeblazen tot ze barsten of lichamen die in zee drijven, en de afwezigheid van wetenschappelijke begrippen in hun conversatie. Novieten zoeken vooral naar bekende analogieën, gebaseerd op oppervlaktekenmerken van het probleem, en passen die vervolgens toe op de nieuwe situatie. Bijvoorbeeld: het zwellen van de cel en de aanwezigheid van water herinnert ze aan het gedrag van een spons, en dus postulieren ze kleine sponsjes in de cel (conceptie 1). Of ze proberen bekende, maar in deze situatie irrelevante, kenmerken van de elementen van het probleem aan elkaar te relateren, zoals in conceptie 8 waarin vermeende hygroscopische eigenschap van zout verantwoordelijk wordt gesteld voor het krimpen; alsof het zout niet *in oplossing* aanwezig is! Deze misconceptie is overigens zeer diep verankerd, want hij werd ook twee maal in de protocollen van de gevorderden gevonden:

Proefleider: 'Nou, kan jij er wat van zeggen, of Carien of zo?'

Pp1: 'Ik kan er van alles van zeggen.'

Pp2: 'Ja, ik denk, die rode bloedcel ja, of ja, hier bij dat zout ja, dan, zout heeft gewoon een sterkere osmose of zo, *en zout trekt water aan* [cursivering van de auteurs], dus dan gaat dat water uit die cel en dan schrompelt die ineen.'

[PROTOCOL G3]

Daarnaast zijn er ook voorbeelden terug te vinden van wat quasi-logisch denken genoemd kan worden. Conceptie 6 is daar een voorbeeld van: normaal zijn er veel bloedcellen in een omgeving aanwezig die allemaal maar een beetje van het werk hoeven te doen, maar omdat in het voorbeeld er maar één bloedcel aanwezig is wordt die natuurlijk overbelast! Curieus is een teleologische verklaring die door iemand geproduceerd werd:

Pp1: 'Wanneer nou iets alleen maar een bepaalde tijd leeft, ...net zoals een vis, die schiet kuit en dan gaat 'ie dood. Misschien is dit hetzelfde.' [Conceptie 7, PROTOCOL N1]

In contrast daarmee postuleren gevorderden een niet direct observeerbaar fysisch proces dat aan het probleem ten grondslag zou liggen, waarmee ze trachten de fenomenen te verklaren. Zij herkennen het probleem als een speciaal geval van een meer algemeen principe en passen dit principe toe om aan te tonen dat dat inderdaad het geval is. Tenslotte; hoewel de verklaringen van novieten veel elementen bevatten die nuttig zijn bij het begrijpen van het probleem, bijvoorbeeld de aanwezigheid van 'kleppen' in de celwand, zijn ze zonder uitzondering incorrect. Zelfs de enige verklaring waarin rekening gehouden werd met verschillen in druk aan beide zijden van de membraan die door de waterverplaatsing veroorzaakt worden (conceptie 12), is niettemin gebaseerd op de misconceptie dat de waterverplaatsing door de wateraan-trekkende eigenschap van het zout veroorzaakt wordt.

EXPERIMENT 2

Misconcepties met betrekking tot aerodynamica

Doel van Experiment 2 was na te gaan of ook in een kwalitatief verschillend domein als de aerodynamica, de in Experiment 1 gebruikte methode bruikbaar is om misconcepties op te sporen. Ook hier wordt nagegaan welke misconcepties gegenereerd worden en of er verschillen optreden tussen leerlingen met een verschillend opleidingsniveau. Alhoewel het betreffende onderwerp niet expliciet behandeld was, zou verwacht kunnen worden dat gevorderden op basis van hun grotere kennis van de mechanica (die in hun studiejaar aan de orde komt) beter dan novieten kunnen afleiden welke processen voor de voorgelegde fenomenen verantwoordelijk zijn.

Methode

Proefpersonen. Proefpersonen waren 45 scholieren van een Maastrichts lyceum: 24 derdeklassers en 21 vierdeklassers, met dezelfde karakteristieken als de scholieren in Experiment 1.

Materiaal. Het materiaal bestond uit een probleembeschrijving met de volgende tekst: 'Men kan op Schiphol waarnemen hoe vliegtuigen, die verschillende tonnen wegen, opstijgen, blijkbaar zonder moeilijkheden. Hoe kan dit verschijnsel verklaard worden?'

Procedure. De procedure was identiek aan de in Experiment 1 gevolgde. De scholieren werden aselekt aan zes kleinere groepen toegedeeld (drie met novieten en drie met gevorderden) die een korte instructie ontvingen over wat er van hen bij de analyse van het experimentele probleem verwacht werd. Vervolgens werd gedurende ongeveer 10 minuten aan het probleem gewerkt. De discussie werd weer op band opgenomen en geanalyseerd.

Resultaten en discussie

De protocollen van de derde- en vierdeklassers zijn bij de discussie van het vliegtuigprobleem veel moeilijker van elkaar te onderscheiden, vermoedelijk omdat het onderwerp niet expliciet in het onderwijs aan de orde geweest is. Toch is dat wel wat verrassend, omdat verwacht werd dat vierdeklassers in ieder geval meer achtergrondkennis van de mechanica hebben, die hen in staat zou moeten stellen een oplossing te construeren. Als transfer van kennis optreedt, dan zouden de resultaten daarvan in de protocollen terug te vinden moeten zijn. Dit nu is nauwelijks het geval.

Veelal werd de discussie begonnen met het noemen van elementen die wellicht belangrijk zijn voor de verklaring, zonder echter die elementen met elkaar in verband te brengen: snelheid, lengte van de startbaan, draagvermogen van de vleugels, luchtdruk, luchtweerstand, vorm van de vleugels, stand van de vleugels. Het kostte de proefleiders enige moeite de groepen zo ver te krijgen dat ze een verklaring zochten in procestermen. Slechts in twee van de zes groepen, in één novietengroep en één gevorderdengroep, werd een min of meer juiste oplossing gepresenteerd. Naar het (achteraf gevraagde) oordeel van de proefleiders ging het in beide gevallen om groepen waarin leerlingen zaten die een hobby hadden, betrekking hebbend op vliegen en vliegtuigen. Hun kennis was dus opgebouwd los van de schoolse context. Hieronder volgt een fragment uit de discussie in de betreffende novietengroep.³:

Pp1: 'Ze moeten eerst als ze snelheid hebben met die vleugels, ...dan krijg je bovenop een soort, ja vacuum of een lagere luchtdruk. En dan wordt die luchtdruk [onder de vleugel, auteurs] hoger, dus dan wordt het vliegtuig omhoog geduwd.'
[PROTOCOL N2]

De betreffende proefpersoon maakt geen melding van de condities waaronder die onderdruk ontstaat, en daarover ontspint zich even verderop een woordenwisseling:

Pp2: 'De vleugel is onder toch ...holler, ja boller. Boven is 'ie plat. Als dan de lucht komt, dan wordt 'ie eronder, dan wordt 'ie aangetrokken en boven wordt 'ie weggetrokken. Ja, dan krijg je boven een vacuum en wordt zo omhoog getrokken.' [PROTOCOL N2]

Blijkbaar veronderstelt de spreker dat er zich onder de vleugel door de bolle vorm een ophoping van lucht voordoet, terwijl de lucht boven over het platte vlak vrijelijk kan wegstromen wat dan het vacuum veroorzaakt. Na enige verwarde kreten zegt vervolgens de oorspronkelijke leerling.

Pp1: 'Nee, het is net andersom.'

Proefleider (P): 'Net andersom?'

Pp1: 'Ja, want als 'ie van boven plat is en onder bol, dan krijg je onder een vacuum.'

P: 'Wat gebeurt er dan?'

Pp1: 'Dan gaat 'ie naar onderen.'

Anderen: 'Ha, ha, ha...'

[PROTOCOL N2]

³) Een verklaring waarom een vliegtuig kan opstijgen komt vereenvoudigd hierop neer: De vleugels zijn van boven bolvormig en van onderen afgeplat. Zodra een toestel snelheid maakt, komt een luchtstroom op gang. Die luchtstroom moet over de vleugel een langere weg afleggen dan onder de vleugel; er treedt dus boven de vleugel een 'verdunning' van luchtmoleculen op, vergeleken met de situatie onder de vleugel. Deze relatieve onderdruk achter op de vleugel is verantwoordelijk voor het opstijgen (en in de lucht blijven).

In één van de gevorderdengroepen wordt wel onmiddellijk de relatie gelegd tussen de vorm van de vleugel en het opstijgen van het vliegtuig:

Pp1: 'De vleugels zijn zo gebouwd dat ze van boven bol zijn en van onderen òf recht, òf een beetje hol. Dan, de snelheid boven de vleugels zal veel hoger zijn en daardoor ontstaat er een lagedrukgebied boven de vleugel, en onder ontstaat ... een hogedruk gebied omdat de lucht daar stilstaat of langzamer beweegt dan d'r boven. En door het verschil wordt het ding een beetje opgetild.'

[PROTOCOL G6]

Tabel 2 bevat in samengevatte vorm de naïeve concepties van zowel novieten als gevorderden over waarom een vliegtuig, hoewel zwaar, toch kans ziet op te stijgen.

Tabel 2

Naïeve concepties van de processen die aan het vliegtuigprobleem ten grondslag liggen.

1. de afduwmetafoor

De onder de vleugel doorgaande lucht wordt door naar beneden gerichte kleppen naar de grond geleid, en duwt daarmee het vliegtuig af.

2. de raketmetafoor

Door ontwikkeling van enorme kracht door de straalmotoren krijgt het toestel zoveel snelheid dat het aan de zwaartekracht ontsnapt.

3. de drijfmetafoor

De vleugels zijn van voren iets naar voren gericht (als een soort boeg), dan wel de vleugels zijn bol van onderen, waardoor de onder de vleugel komende lucht deze opduwt (zoals een speedboot op het water).

Ook bij dit probleem ziet men dat door scholieren zonder specifieke voorkennis niet zozeer een onderliggend model geconstrueerd wordt dat de verschijnselen kan verklaren, maar dat naar een oplossing gezocht wordt door een bekend verschijnsel te nemen dat oppervlakkige – perceptuele – kenmerken met het te verklaren verschijnsel gemeen heeft (een boot die vaart op het water; een raket of kanonskogel die wordt afgeschoten), om vervolgens dat bekende verschijnsel te transponeren naar de te verklaren situatie.

ALGEMENE DISCUSSIE

In dit artikel werden twee experimenten gerapporteerd naar de bruikbaarheid van een methode van probleemanalyse in een kleine groep voor het opsporen van misconcepties die leerlingen er in het middelbaar onderwijs op na houden met betrekking tot natuurwetenschappelijke fenomenen. In de inleiding werd vastgesteld dat voorkennis in belangrijke mate bepaalt wat iemand kan leren, omdat nieuwe informatie in bestaande geïntegreerd moet worden. Als die voorkennis echter bestaat uit misconcepties, dan kan het van belang zijn die misconcepties in een bepaald domein eerst gedetailleerd in kaart te brengen, opdat de docent in zijn onderwijs zal kunnen aansluiten bij die misvattingen, en methoden kan ontwerpen waarmee ze bestreden kunnen worden. Eveneens werd geconstateerd dat de bestaande methodologie op dit terrein, die zich concentreert op het diepgaand uitvragen van één of enkele leerlingen (Nussbaum & Novak, 1976) of het voorleggen van opgaven in meerkeuzevorm (Strike & Posner, 1982) wellicht onvoldoende zicht biedt op de mogelijke diversiteit van misconcepties binnen een bepaalde groep, en in de praktijk van het klassikale onderwijs moeilijk te hanteren lijkt. De hier

voorgestelde aanpak bestaat daarin dat een groep leerlingen een beschrijving van een aantal natuurfenomenen voorgelegd krijgt met de opdracht zoveel mogelijk verklaringen te bedenken voor die verschijnselen.

Afgaande op de hoeveelheid geproduceerde misconcepties, leek de methode succesvol te zijn. Voor het vliegtuigprobleem werden drie, en voor het bloedcelprobleem niet minder dan twaalf misconcepties opgespoord. Daaruit blijkt dat, in tegenstelling tot wat soms in de literatuur gesuggereerd wordt, de variëteit aan onjuiste opvattingen soms groot kan zijn. Onduidelijk is waarom het bloedcelprobleem zoveel meer misconcepties genereert.

Behalve de mogelijkheid van het kwantificeren van misconcepties in een groep, lijkt de methode vruchtbaar omdat ermee veel kwalitatieve informatie – vergelijkbaar met het diepgaand uitvragen van één enkele leerling – wordt verkregen. Zo blijken leerlingen bijvoorbeeld niet enkel wat ze ooit geleerd hebben of door ervaring weten te reproduceren, maar op een actieve wijze causale verklaringen te construeren die passen op het betreffende probleem. Novieten tonen daarbij de neiging het probleem op te breken in delen en verklaringen voor te stellen voor elk van de verschijnselen afzonderlijk, terwijl de gevorderden meestal één of twee algemene principes postuleren en dan trachten aan te tonen dat de beschreven verschijnselen concrete manifestaties van die principes zijn. Daarnaast suggereren de analyses van de verkregen protocollen dat misconcepties een uitgesproken metafoor karakter hebben. De scholieren zochten veelal naar bekende voorbeelden met dezelfde perceptuele kenmerken als de te verklaren verschijnselen en transposeerden vervolgens die bekende voorbeelden. Soms werd ook wel getracht de elementen uit het probleem op een directe wijze (dus zonder tussenkomst van een te postuleren onderliggend proces) aan elkaar te koppelen.

Nogal verrassend is dat de meeste aan het licht gebrachte misconcepties niet enkel oppervlakkig of imprecies zijn, maar echt onjuist. De vraag doet zich dan ook onmiddellijk voor hoe pertinent onjuiste opvattingen over hoe de wereld in elkaar steekt, toch een positieve bijdrage kunnen leveren aan het leren. Dat dat wel degelijk gebeurt, blijkt bijvoorbeeld uit onderzoek van Schmidt en Patel (1987): novieten die aan het bloedcelprobleem gewerkt hadden, begrepen toch meer van een daarna gepresenteerde tekst over osmose en diffusie, dan novieten die aan een neutraal probleem gewerkt hadden. Met andere woorden: hoe kunnen bestaande, onjuiste, maar diep verankerde opvattingen over hoe de wereld in elkaar steekt, überhaupt veranderen? De beantwoording van deze vraag vergt onderzoek waarbij de in deze bijdrage voorgestelde methode wellicht nuttige antwoorden zou kunnen verschaffen.

REFERENTIES

- Ausubel, D.P., Novak, I.D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Boshuizen, H.P.A., Schmidt, H.G., & Coughlin, L. D. (1987). *On-line representation of a clinical case and the development of expertise*. Paper presented at the meeting of the American Educational Research Association, Washington, DC.
- Bransford, J.D., & Johnson, M.K. (1972). Contextual prerequisites for understanding: Some investigations of comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 717-726.
- Brumby, M.N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68, 493-503.
- Champagne, A.B., Gunstone, R.F., & Klopfer, L. E. (1983). Naive knowledge and science learning. *Research in Science and Technological Education*, 2, 173-187.
- Champagne, A.B., Klopfer, L.E., & Gunstone, R.F. (1982). Cognitive research and the design of science instruction. *Educational Psychologist*, 17, 31-53.
- Clement, J. (1979). Mapping a student's causal conceptions from a problem-solving protocol. In H. Lochhead & J. Clement (Eds.). *Cognitive Process Instruction*. Philadelphia, NJ: Franklin Institute Press.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 1, 66-71.
- Cohen, M. R. (1979). Where does the old man go? *The Science Teacher*, 8, 22-23.

- DiSessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner, & A. L. Stevens (Eds.). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Doran, R. L. (1972). Misconceptions of selected science concepts held by elementary school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 9, 127-137.
- Driver, R. (1973). *The Representation of conceptual frameworks in young adolescent science students*. Unpublished Ph.D. thesis. Chicago, IL: University of Illinois.
- Driver, R., & Easley, J.A. (1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Driver, R., & Easley, J.A. (1969). Autonomous dynamical thinking of young adolescent physics students. In J. A. Easley (Ed.). *The Use of Mathematics in Science Teaching*. Urbana, IL: University of Illinois.
- Gentner, D., & Stevens, A.L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Green, B., McCloskey, M., & Caramazza, A. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- Gunstone, R. F., & White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291-300.
- Hunt, J. McV. (1971). Intrinsic motivation: information and circumstances. In H. M. Schroder & P. Suedfeld (Eds.). *Personality theory and information processing*. New York, NY: Ronald.
- Lebouttet-Barrell, L. (1976). Concepts of mechanics in young people: *Physics Education*, 11, 462-466.
- Lodewijks, J.G.L.C. (1981). *Leerstofsequenties*. Academisch proefschrift. Tilburg: Katholieke Hogeschool.
- Nussbaum, J. & Novak, J.D. (1976). An assessment of children's concepts of the earth utilizing structured interviews. *Science Education*, 60, 535-550.
- Osborne, R.J., & Gilbert, J.K. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*, 15, 376-379.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York, NY: Basic Books.
- Pichert, J. W., & Anderson, R. C. (1977). Taking different perspectives on a story. *Journal of Educational Psychology*, 69, 305-315.
- Schmidt, H. G. (1984). Activatie van voorkennis en tekstverwerking. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 39, 335-347.
- Schmidt, H.G., & Patel, V.L. (1987). *Effects of knowledge activation through small-group discussion on the processing of science text*. Paper presented at the meeting of the American Educational Research Association, Washington, DC.
- Strike, K., & Posner, G. (1982). *Epistemological assumptions of College students: an initial report*. Paper presented at the Annual Convention of the Northeastern Education Research Association, Ellenville, N.Y.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.
- Weeda, W. C. (1982). *Beheersingsleren: een model getoetst in de tijd*. Academisch proefschrift. Tilburg: Katholieke Hogeschool.

Manuscript ontvangen 6-4-1987. Definitieve versie ontvangen 25-1-1988.