

## Kinderen aan het experimenteren zetten via concept cartoons

Patricia Kruit  
Hogeschool van Amsterdam

Fanny Wu  
Universiteit Utrecht

Ed van den Berg  
Hogeschool van Amsterdam en Vrije Universiteit

### Samenvatting

Concept cartoons (Naylor & Keogh, 1999, 2012; Naylor et al., 2007) worden vaak gebruikt om leerlingdenkbeelden te diagnosticeren en leerlingen aan het redeneren te krijgen met begrippen. Concept cartoons kunnen leerlingen ook aanzetten tot het bedenken van experimenten om het verschijnsel in de cartoon nader te onderzoeken en vervolgens de resultaten te gebruiken bij redeneren over dat verschijnsel. In zes lessen met drie concept cartoons onderzochten we in hoeverre basisschoolleerlingen zonder eerdere ervaring met praktisch werk in de wetenschap- en technieklessen in staat zijn experimenten te bedenken waarbij zij de resultaten gebruiken om hun argumenten te onderbouwen. Welke problemen doen zich daarbij voor? Het onderzoek werd uitgevoerd in een klas met 29 leerlingen van groep 7 in Amsterdam. Het onderwijsproces en de opbrengst werden gedocumenteerd door middel van video- en audio-opnames, observatieverslagen, individuele werkbladen en groepsworkbladen van de leerlingen.

Het kost de leerlingen weinig moeite om experimenten te bedenken om het verschijnsel in de cartoon nader te onderzoeken, maar de onderzoeksvaardigheden die leerlingen daarbij nodig hebben ontbreken in meer of mindere mate. Bij de uitvoering worden de oorspronkelijke onderzoeksvraag van de kinderen zelf en het oorspronkelijke ontwerp van het experiment nogal eens vergeten, en leveren de experimenten andere kennis op dan bedoeld in de oorspronkelijke onderzoeksvraag. De cartoons bleken ook duidelijk te verschillen in hun potentie om productief onderzoek te genereren. De docent kan het gebruik van concept cartoons in de lessen op een hoger niveau brengen door zorgvuldig te overwegen wanneer welke cartoon te gebruiken en hoe de cartoon in te zetten om welke vaardigheden te ontwikkelen, maar ook door de discussie, het proces van het ontwerpen van de experimenten, het documenteren van resultaten in logboek of werkblad en het gebruiken van bewijsmateriaal in redeneringen te begeleiden en daarin leerlijnen uit te zetten.

## 1. Inleiding

Onderzoekend leren (of 'inquiry-based learning') in natuur- en techniekonderwijs is gepropageerd sinds de jaren zestig of zelfs sinds de tijd van Dewey vroeg in de twintigste eeuw. Onderzoekend leren kan opgevat worden als een didactische methode (onderzoekend leren) of als een leerdoel (leren onderzoeken). In dit artikel gaat het ons om het leren onderzoeken, dat volgens ons een essentieel leerdoel is voor onderwijs in de natuurwetenschappen. In de Nederlandse kerndoelen primair onderwijs staat: "De leerlingen leren onderzoek doen aan materialen en natuurkundige verschijnselen, zoals licht, geluid, elektriciteit, kracht, magnetisme en temperatuur" (kerndoel 42). Er is geen verdere uitwerking over wat dat "leren onderzoek doen" is. Het Engelse science curriculum voor leerlingen in de leeftijd van elf jaar (Keystage 2) is meer specifiek (Department for Education, 1999): "Pupils should be taught: (a) that science is about thinking creatively to try to explain how living and non-living things work, and to establish links between causes and effects; (b) that it is important to test ideas using evidence from observation and measurement." Vervolgens wordt dit laatste uitgewerkt in specificaties rond "planning" (bijvoorbeeld: formuleren van onderzoekbare vragen, besluiten welke informatie nodig is om de vraag te beantwoorden), "obtaining and presenting evidence" (bijvoorbeeld: systematisch observeren en meten, nadenken over wat zou kunnen gebeuren en uitproberen bij het besluiten wat te doen, welk bewijsmateriaal te verzamelen en welke instrumenten of materialen te gebruiken), en "considering evidence and evaluating" (bijvoorbeeld: gebruiken van observaties, metingen en andere gegevens, gebruiken van kennis en begrip om waarnemingen, metingen en conclusies te verklaren). Bedenk dat deze onderzoeksvaardigheden niet los gezien kunnen worden van kennis, zoals men ooit dacht over 'process skills'. In onderzoekjes van kinderen zijn onderzoeksvaardigheden en inhoud onderling afhankelijk en faciliteren ze elkaar (Duschl et al., 2007, p131; Millar & Driver, 1987).

## 2. Theoretisch kader

Lange tijd werd aangenomen dat basisschoolleerlingen slechts zeer beperkt kunnen redeneren vanwege de door het werk van Piaget en zijn volgers zichtbaar gemaakte grenzen. Piaget (Flavell, 1963) definieerde concrete en formele cognitieve operaties. Voorbeelden zijn 'op volgorde leggen' en 'classificeren' (concreet) en 'variabelen manipuleren of constant houden' (formeel). Beheersing van dergelijke operaties werd lange tijd gezien als voorwaarde om succesvol onderzoekend te leren. Kinderen in de concreet-operationele fase hebben bijvoorbeeld moeite om volgens een vooropgezet plan te werk te gaan, terwijl leerlingen in de formeel-operationele fase een hypothese kunnen stellen en die hypothese vervolgens gericht kunnen toetsen (zie ook Duschl et al., 2007, p133). Inmiddels is het beeld sterk genuanceerd. Gopnik (2012, p1623) beweert zelfs dat "very young children's learning and thinking are strikingly similar to much learning and thinking in science" en onderbouwt deze bewering met veel experimenten en succesvolle modellen. Kinderen kunnen toch meer dan verwacht, in de woorden van Tytler en Peterson (2003, p433):

“some of these young children argue well in advance of curriculum expectations”. Jonge kinderen kunnen misschien niet bewust variabelen manipuleren of constant houden, maar ze kunnen tot op zekere hoogte redeneren met observaties en begrippen. De vraag is tot op welke hoogte dit bereikt kan worden in een typische klassensituatie. Voor de docenten is het daarom van belang te weten hoe zij de onderzoeksvaardigheden bij kinderen kunnen ontwikkelen door instructie, gedefinieerd als “the deliberate arrangement of learning conditions to promote the attainment of some intended goal” (Driscoll, 2005, p. 23).

Door het geven van specifieke begeleiding en instructie kan bijvoorbeeld de vaardigheid van redeneren met theorie en bewijsmateriaal uit experimenten bij kinderen verbeterd worden (Smith et al., 2000; Pine et al., 2006; Miles & Van Deventer, 1961; Abrahams & Millar, 2008). Een voorbeeld is het maken van aantekeningen bij experimenteren. Garcia-Mila en Anderson (2007) vonden dat over een periode van tien weken experimenteren volwassenen driemaal vaker aantekeningen maakten dan kinderen van groep 6, dat het aantekeningen maken van volwassenen stabiel bleef en bij kinderen inzakte tot de helft van het aantal aantekeningen bij de start, dat kinderen zelden terugkeken naar hun aantekeningen en dat die aantekeningen typisch bestonden uit conclusies en niet uit documentatie van bewijsmateriaal zoals observaties en metingen. Gedurende veertien jaar experimenteren met science notebooks in het armste schooldistrict van California liet Klentschy (2008) zien dat systematische aandacht voor gebruik van logboeken positieve leereffecten kan hebben, niet alleen op science maar ook op taalprestaties (Klentschy & Molina, 2004). Duschl et al. (2007, p. 129-167) concluderen in hun review van literatuur over kinderen en het genereren van bewijsmateriaal en verklaringen, dat instructie een belangrijke factor is, hoewel vooruitgang niet lineair is maar typisch plaatsvindt met horten en stoten en af en toe terugvallen.

Hoewel ‘leren onderzoeken’ universeel belangrijk wordt gevonden, is implementatie in de klas in de meeste landen zeer beperkt. Voor zover er in Nederland natuur en techniek wordt onderwezen, domineert het leerboek. En als er practicumactiviteiten zijn, dan zijn deze vaak beperkt tot ‘hands-on’ zonder ‘minds-on’ en tot eenmalige activiteiten waarbij een onderwerp zelden in meer dan één les voorkomt (PPON, 2011). Het heen-en-weer denken tussen begrippen/theorie en verschijnselen – dat is wat minds-on zou moeten zijn (Van den Berg, 2012) – ontbreekt meestal. Dit is overigens een bekend probleem van practicumonderwijs in de natuurwetenschappen (Hofstein & Lunetta, 1982, 2004; Hodson, 1993; Abrahams & Millar, 2008; Millar, 2010). Practicumactiviteiten zijn vaak beperkt tot observeren en meten volgens recept-achtige instructies en betrekken leerlingen onvoldoende bij het ontwerpen en interpreteren van experimenten (Tamir & Lunetta, 1981; Germann et al., 1996), zelfs wanneer de materialen het stempel ‘inquiry’ dragen. Wat docenten nodig hebben, zijn methoden/werkvormen die voor hen laagdrempelig zijn en die toch leerlingen aan het redeneren krijgen met begrippen en resultaten van experimenten en hen uitdagen te redeneren vanuit verschillende gezichtspunten.

Precies voor dat doel introduceerden Naylor en Keogh (1998, 1999) hun concept cartoons waarin kinderen worden getekend met verschillende beweringen over een alledaags verschijnsel (zie figuur 1, 2 en 3). Kinderen gaan dan praten over deze cartoons en gebruiken hun eigen ervaringen met het verschijnsel als 'bewijsmateriaal'. Op veel plaatsen in de wereld worden concept cartoons nu op deze manier gebruikt. Dit leidt inderdaad tot redeneren met begrippen (Naylor et al., 2007). Een andere positieve opbrengst is dat leerlingen gemotiveerd en betrokken worden bij het leren van het in de cartoon getoonde concept (Naylor & Keogh, 1996).

Naylor et al. (2007) onderzochten het gebruik van concept cartoons met kinderen in de leeftijd van acht en negen jaar, en vonden dat deze kinderen in staat waren om hun meningen te ondersteunen met argumenten en dat ze konden luisteren naar en reageren op de argumenten van anderen. Een analyseschema gebaseerd op Toulmin's redeneerschema's met 'claims', 'data', 'warrants', 'backings' en 'rebuttals' werkte niet, maar een simpele classificatie van interacties leverde nuttige informatie. Het probleem met het Toulmin-schema was dat "very few pupils related data to their claims through the use of warrants. The use of backings or theoretical justifications for warrants was almost entirely absent. There were no examples of a pupil or group presenting an argument that would fit well with all or most of Toulmin's model, even where the researcher and class teacher felt that the pupils' arguments were worthwhile. Pupils also made statements which appeared to be intrinsic to the discussion but which were difficult to fit into Toulmin's categories" (Naylor et al., 2007, p. 21). Met het meer pragmatische schema van de onderzoekers werd gekeken of kinderen naar elkaar luisterden, of ze argumenten gebruikten, of ze gingen op argumenten van anderen, of ze met verder bewijsmateriaal kwamen, en of ze een discussie met argumenten en bewijsmateriaal gaande konden houden. Hieruit bleek dat de kinderen, gebaseerd op hun eigen dagelijkse ervaringen, konden redeneren over concept cartoons, dat de meeste kinderen argumenten gebruikten en reageerden op argumenten van andere kinderen, en dat de kinderen in kleine groepjes gezamenlijk redeneringen konden construeren zonder ondersteuning van de leerkracht.

Chin en Teou (2009) gebruikten concept cartoons in de groepen 7 en 8 (leeftijd 10-12 jaar) in Singapore. Hun doel was om de cartoons te gebruiken voor het diagnosticeren van misconcepties en het ontwikkelen van interacties die conceptuele verandering zouden stimuleren. De cartoons en de discussies tussen leerlingen maakten het voor de leerkrachten mogelijk om leerlingdenkbeelden te identificeren en daar vervolgens in de lessen rekening mee te houden.

Naylor en Keogh (2012) hebben onlangs nog eens al het onderzoek over concept cartoons samengevat. Ze wijzen op het belang van de alledaagse context in de cartoons, op het feit dat kinderen vaak voor het eerst zelf met conflicterende informatie moeten werken, op de verschillende cartoon-antwoorden die voor kinderen zeer herkenbaar zijn en waarbij het wetenschappelijk betere antwoord slechts een van de opties is. Maar ook geven ze aan dat het voordeel van concept cartoons is dat diagnostische toetsing, het oproepen en

ter discussie stellen van leerlingdenkbeelden en het motiveren van leerlingen geïntegreerd zijn in één methode. Maar je kunt een stap verder gaan en leerlingen vragen om experimenten te bedenken die de meningen in de concept cartoon ondersteunen of weerleggen, of waarin het verschijnsel verder wordt verkend. Dan leiden de cartoons tot onderzoekend leren.

### **Onderzoeksvragen**

Kunnen concept cartoons functioneren als laagdrempelige start om kinderen aan het redeneren te krijgen met begrippen en bewijsmateriaal in Nederlandse basisscholen? Onze eerste poging was bemoedigend, maar liet ook wat problemen zien. Direct na het laten zien van de in figuur 1 weergegeven cartoon renden de kinderen (groep 5&6, leeftijd 8-10 jaar) al weg om dingen te halen die ze voor het experiment nodig hadden. Binnen een minuut hadden ze al iets bedacht en dat moest direct worden uitgevoerd. Toen ze terug waren, stelden we toch eerst maar wat kritische vragen. Enig nadenken leidde hen toen al snel tot meer zinvolle experimenten. Daarom doen we nu altijd twee lessen per cartoon. In de eerste les bespreken de kinderen de cartoon, bedenken ze een experiment en beschrijven ze dat experiment op een werkblad. In de tweede les wordt het experiment uitgevoerd en worden de resultaten gepresenteerd. Sindsdien hebben we geëxperimenteerd op vier scholen in de groepen 5 tot 8.

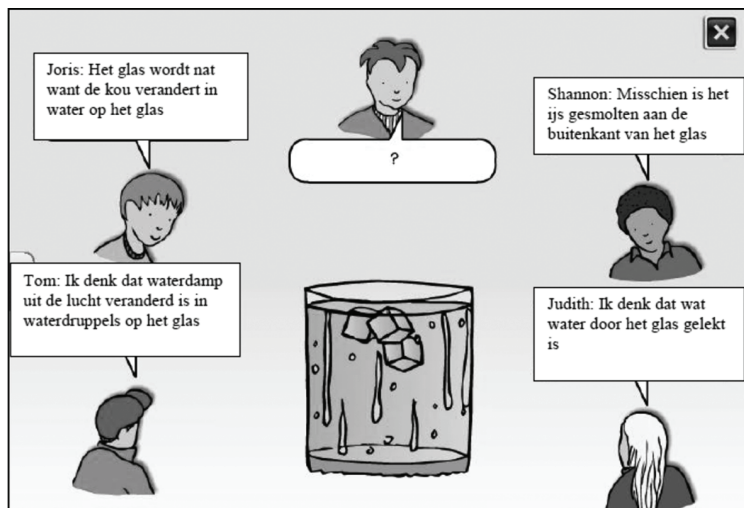
In dit artikel rapporteren we over experimenten met concept cartoons in een heterogene klas met leerlingen uit groep 7. Onze onderzoeksvragen bij deze experimenten waren:

1. Kunnen concept cartoons functioneren als een laagdrempelige start om kinderen hun eigen experimenten te laten ontwerpen? Welke moeilijkheden ervaren ze daarbij?
2. Leidt dit proces tot redeneren met begrippen en resultaten uit experimenten? Welke typische problemen doen zich daarbij voor?

### **3. Methode**

Drie verschillende concept cartoons werden gebruikt in een klas met 29 leerlingen uit groep 7 (leeftijd 10-11 jaar) in Amsterdam. De leerlingen hadden weinig of geen ervaring met onderzoekend leren en experimenteren. Dat gold ook voor de docent. Ze gebruikten wel één keer per week een W&T-leerboek (Natuuriek). Het boek bevatte veel activiteiten, maar die werden niet uitgevoerd. Het boek werd dus puur als leesboek gebruikt. We programmeerden zes lessen waarin drie concept cartoons werden geïntroduceerd. Groep 7 werd gekozen na diverse pilots in de groepen 6, 7 en 8 op verschillende scholen. Leerlingen uit groep 7 hebben voldoende spreek- en schrijfvaardigheden om mondeling argumenten te formuleren en deze vervolgens op papier te verwoorden.

De docent selecteerde de in figuur 1 t/m 3 weergegeven concept cartoons over condensatie, schaduwen en wrijving. We lieten de docent de cartoons selecteren om optimale betrokkenheid te creëren.

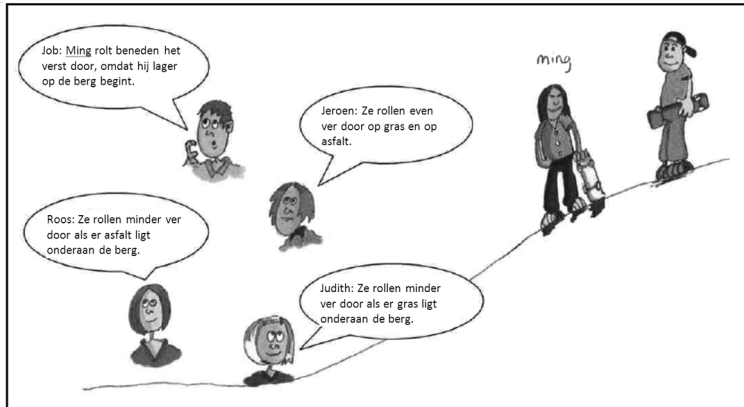


Figuur 1. Concept cartoon over condensatie op de buitenkant van een glas koud water met ijsblokjes.



Figuur 2. Concept cartoon over enkele en overlappende schaduwen.

Na pilots op enkele andere scholen met zowel heterogene klassen als plusklassen uit groep 5&6, 7 en 8 kwamen we tot een lesopzet met voor elk van de drie cartoons de stappen zoals weergegeven in figuur 4.



Figuur 3. Concept cartoon over wrijving bij het uitrollen vanaf een helling.

#### Les 1 (een uur op woensdag)

1. De docent deelt de cartoon uit met een korte introductie om er zeker van te zijn dat de leerlingen de situatie van de cartoon begrijpen.
2. Leerlingen geven schriftelijk en individueel hun mening over welke persoon in de cartoon gelijk heeft of het meest redelijke antwoord geeft met een argument voor hun keuze.
3. De leerlingen worden ingedeeld in groepjes van vier (soms drie of vijf) en elk groepje wordt gevraagd hun keuze en argumenten te bespreken. Rollen zoals 'schrijver', 'materiaalbeheerder', 'presentator' en 'vragensteller' (als liaison met de docent) worden over de leerlingen in een groepje verdeeld.
4. De leerlingen krijgen de opdracht om een experiment te bedenken om één van de uitspraken in de cartoon te toetsen, of het verschijnsel in de cartoon nader te onderzoeken. De groepjes worden gevraagd hun experiment te beschrijven op een werkblad (zie figuur 5) met enkele voorgedrukte vragen, een schets te maken van de opzet van het experiment, op te schrijven wat ze als uitkomsten zouden verwachten, en een lijstje te maken van de benodigde materialen.

#### Les 2 (een uur op vrijdag)

5. De groepjes voeren hun experimenten uit en formuleren hun resultaten en conclusie.
6. De groepjes presenteren hun resultaten en conclusie aan de klas.

Figuur 4. De opzet van de twee lessen per concept cartoon.

Het samenwerkend leren met rollen zoals beschreven in de derde stap van de lesopzet was een resultaat van de pilots en was geïnspireerd door de praktijk in het Australische science programma *Primary Connections* (2008). De 'schrijver' is verantwoordelijk voor het invullen van het werkblad, de 'materiaalbeheerder' is verantwoordelijk voor het verzamelen en opruimen van de spullen, de 'presentator' is verantwoordelijk voor het presen-

teren van de bevindingen van de groep en de 'vragensteller' is verantwoordelijk voor het vragen van hulp aan de docent. Door het introduceren van de rol van vragensteller werd de geanticiperde chaos in deze klas met 29 leerlingen tot een minimum beperkt. Zo waren er maar zeven leerlingen die naar de docent toe mochten om vragen te stellen. Hierdoor was er ruimte voor de docent om de klas beter in de gaten te houden en de groepjes te helpen met de voortgang.

1. Bekijk het plaatje nu samen met je groepje. Praat met de andere kinderen over wat Joris, Shannon, Tom en Judith zeggen. Wie heeft er gelijk volgens jullie? Waarom denken jullie dat? Wij denken dat ..... gelijk heeft, omdat .....
2. Opzet en uitvoering: Gebruik woorden en een tekening om te laten zien wat je gaat doen om erachter te komen hoe het zit. Je moet het zo opschrijven, dat iemand anders jouw experiment precies kan nadoen! We gaan dat uitzoeken door .....
3. Verwachting: Wat verwacht je dat er bij jullie experiment gebeurt? Ons experiment heeft gewerkt als we zien dat .....
4. Materiaal: Wat hebben we nodig om het experiment uit te voeren? Maak een lijst van alle spullen die jullie nodig hebben.
5. Resultaten: Beschrijf wat er gebeurde toen jullie het experiment uitvoerden. Wat zagen jullie gebeuren? Wat hebben jullie gemeten? We zagen dat .....
6. Conclusie: Lees nog eens wat je bij '3. Verwachting' had opgeschreven. Is uitgekomen wat je dacht dat er zou gebeuren? Ja / nee, want ..... Waar ben je achter gekomen door het uitvoeren van het experiment? .....
7. Discussie: Zijn er ook dingen mis gegaan tijdens het experiment? Welke dingen? ..... Wat zou je nog verder willen onderzoeken? Ik vraag mij af .....

Figuur 5. Groepswerkblad bij de concept cartoon over condensatie (zie figuur 1). In het originele werkblad was meer ruimte beschikbaar om te schrijven en te tekenen.

Het werkblad was beperkt van omvang. In een van de pilots met een plusklas uit groep 5&6 (leeftijd 9-10 jaar) hadden we een veel te lang werkblad gebruikt, waardoor het enthousiasme behoorlijk gesmoord werd. Vandaar de simpele opzet van het werkblad in figuur 5.

De lessen werden geobserveerd door twee onderzoekers (Kruit en Wu) en geleid door de docent met assistentie van één van de onderzoekers (Kruit). De onderzoekers noteerden hun waarnemingen en schreven een verslag over elke les. De leerlingen schreven hun individuele bewering en redenering op een individueel werkblad. Vervolgens werd de door de groep na discussie gekozen bewering en redenering op een groepswerkblad geschreven. Ook de opzet van het voorgestelde experiment en de verwachte uitkomsten werden op het werkblad genoteerd. De leerlingen moesten hun opzet niet alleen in woorden beschrijven, maar ook weergeven in een tekening. Zij kregen de instructie om het experiment zo te beschrijven, dat een ander groepje in staat zou zijn het experiment te herhalen. Tijdens de lessen werden video- en audio-opnames gemaakt van drie van de

zeven groepjes. De data bestonden dus uit individuele werkbladen, een groepswerkblad (met de onderzoeksvraag en de opzet, resultaten en conclusie van het experiment), video- en audio-opnames en ongestructureerde notities van de twee onderzoekers.

#### **4. Resultaten**

##### **Algemene ervaringen**

Bij het introduceren van het in de concept cartoon weergegeven verschijnsel kwamen de leerlingen met veel voorbeelden uit hun eigen omgeving en desgevraagd snel met een mogelijke verklaring. Er was weinig input van de docent nodig om de leerlingen op gang te brengen. Zij leken gemotiveerd om na te denken over het verschijnsel. De docent had weinig voorbereiding nodig om de cartoon kort klassikaal toe te lichten voordat de leerlingen gevraagd werd hun bewering en argumenten individueel op te schrijven. Dit gold in meer of mindere mate voor elk van de drie gebruikte cartoons. Nadat elk kind zijn of haar individuele werkblad had ingevuld en ingeleverd, werden de leerlingen in groepjes van vier of vijf leerlingen gezet. Zij kregen de opdracht met elkaar te praten over het verschijnsel om vervolgens met een gezamenlijke bewering en argumenten te komen. In eerder onderzoek kwam naar voren dat leerlingen in staat waren met elkaar op redelijk niveau te discussiëren (Naylor et al., 2007). In ons onderzoek ging dat niet altijd goed: de leerlingen spraken veel met elkaar, maar ze waren niet altijd 'on-task' en in een aantal gevallen werden er pas zinnige dingen gezegd als de docent erbij kwam staan en een vraag stelde. De meeste groepjes waren in staat om een groepsbewering te formuleren en daar argumenten bij te geven.

Aansluitend gingen de groepjes een experiment ontwerpen om hun groepsbewering te testen. De leerlingen kwamen snel met verschillende experimenten: soms gaf de afbeelding op de cartoon zelf al suggesties, maar vaker nog bedachten de leerlingen experimenten met alternatieve materialen (bijvoorbeeld een boek nemen voor een boom bij de cartoon over schaduwen). In de drie lessen waarin een cartoon werd geïntroduceerd, gaf de cartoon op zichzelf al aanleiding genoeg om met verschillende ideeën voor experimenten te komen. De uitwerking op papier leverde meer problemen op, zoals duidelijk zal worden in de voorbeelden.

##### **Experimenten opzetten en uitvoeren**

In het algemeen waren alle leerlingen on-task bezig met het ontwerpen en uitvoeren van de experimenten. Het niveau van de ontwerpen verschilde echter tussen de groepen. In sommige gevallen kopieerden de leerlingen exact wat zij in de cartoon zagen, bijvoorbeeld bij de cartoon over schaduwen. Zij gebruikten twee boeken en een lamp om de zon en bomen na te bootsen (zie figuur 6). In andere gevallen kwamen de leerlingen op het idee om slechts één variabele te veranderen. Bijna geen enkele groep experimenteerde met verschillende variabelen of dacht aan een controle-experiment.



Figuur 6. Gebruik van een lamp (de zon) en twee boeken (de bomen) om schaduwen te maken.

In het voorbeeld van figuur 7 kopieerden de leerlingen het experiment zoals het in de cartoon over condensatie staat weergegeven, waarbij zij slechts het type vloeistof veranderden. Ze betrokken in hun argumenten niet de invloed van het type vloeistof, maar ontwierpen een experiment waarmee zij wilden aantonen of cola hetzelfde effect heeft op condensatie als gewoon water. Toen aan hen gevraagd werd of hun experiment had gewerkt (dus: of het bewijs opleverde voor hun groepsbewering), schreven zij op dat dat niet het geval was. Zij hadden geen experiment ontworpen dat hun bewering zou kunnen onderbouwen, maar zij gingen wel verder op onderzoek uit naar het fenomeen: zou hetzelfde gebeuren met cola?



Figuur 7. De groepsbewering en de opzet van het experiment over condensatie.

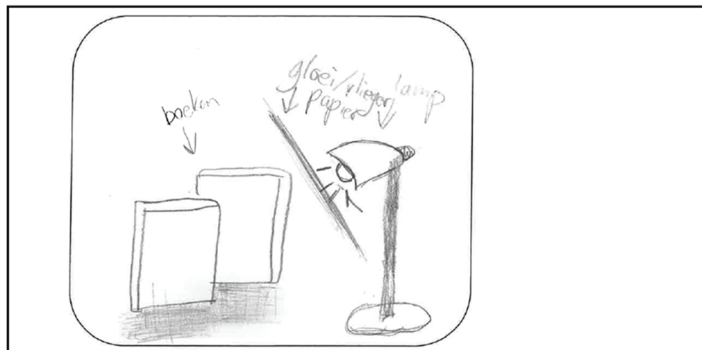
De variatie aan experimenten die de leerlingen bedachten, verschilde tussen de concept cartoons. In de les waarin de cartoon over schaduwen werd gebruikt, was er weinig variatie tussen de groepen. Er was interventie van de docent nodig om de leerlingen aan te zetten tot meer onderzoek naar het fenomeen schaduwen. Ze kwamen uit zichzelf niet op het idee om te onderzoeken of bijvoorbeeld de kleur van de lichtbron een rol speelt bij

schaduwen. In de les met de cartoon over wrijving ontwierpen de leerlingen echter een breed scala aan experimenten. Een groepje ontwierp bijvoorbeeld een experiment waarmee gemeten kon worden welke afstand een knikker aflegt als hij van een steile, gladde helling komt afrollen. Een ander groepje ontwierp een experiment om te zien of een speelgoedauto verder zou doorrollen op gras of op asfalt zonder de helling zelf te variëren. Weer een ander groepje probeerde een speelgoedauto af te remmen met een opgeblazen ballon eraan vast.

### Redeneren met bewijs

We waren niet alleen geïnteresseerd in een antwoord op de vraag of leerlingen in staat zouden zijn om experimenten te ontwerpen, maar ook in de kwaliteit van die experimenten – bijvoorbeeld of zij hun waarnemingen en metingen zouden gebruiken om hun bewering te ondersteunen of te verwerpen. Bij drie activiteiten van zeven groepen hadden er 21 groepsworkbladen moeten zijn, maar daarvan werden er vier niet ingeleverd. Van de zeventien ingeleverde groepsworkbladen grijpen er twaalf bij de groepsconclusies terug op de oorspronkelijke bewering en worden de resultaten gebruikt om de bewering te ondersteunen of te verwerpen. Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven van experimenten waarbij de resultaten teruggekoppeld werden naar de bewering.

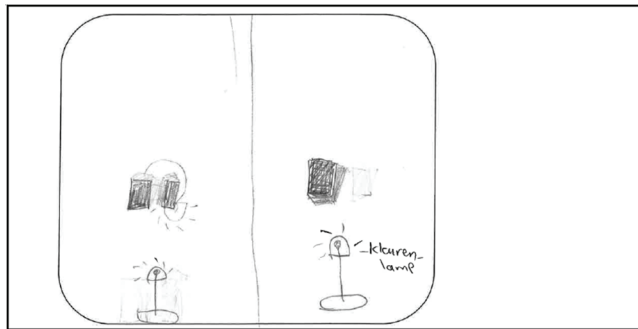
In de les met de cartoon over schaduwen hadden leerlingen een experiment ontworpen waarmee zij wilden uitzoeken of de kleur van de schaduw verandert als de lichtbron van kleur verandert (zie figuur 8). Tevens wilden zij onderzoeken of de schaduw donkerder wordt als twee schaduwen elkaar overlappen.



Figuur 8. Experiment met een lamp (de zon) en twee boeken (de bomen).

De leerlingen concludeerden dat schaduwen niet donkerder worden wanneer zij elkaar overlappen en dat de kleur van de lichtbron geen invloed heeft op de kleur van de schaduw, terwijl oorspronkelijk de helft had voorspeld dat de schaduw donkerder zou worden. Een groep onderbouwde zijn keuze voor de uitspraak van Frits (linksboven in de cartoon) met de opmerking dat de zon overal kan komen, behalve achter de bomen en dat daarom

de schaduw donkerder wordt. Zij ontwierpen daarna een experiment (zie figuur 9) en noteerden na uitvoering de volgende conclusie: "De schaduw wordt niet donkerder en Jan (rechts) heeft gelijk." Deze leerlingen hebben de waarnemingen uit het experiment gebruikt om hun oorspronkelijke bewering te verwerpen.



Figuur 9. Experiment met een witte lamp en een gekleurde lamp.

In dit voorbeeld komt naar voren dat leerlingen in staat waren om experimenten te ontwerpen en om hun resultaten te gebruiken om hun bewering te ondersteunen of te verwerpen. Er waren echter ook problemen bij het uitvoeren van de experimenten en het interpreteren van de resultaten. Deze problemen zijn niet specifiek voor het gebruik van concept cartoons, maar zullen ook bij andere methoden van het leren onderzoeken naar voren komen.

Sommige groepen hadden een experiment bedacht op woensdag, maar veranderden hun opzet tijdens de uitvoering op vrijdag, zonder dit op het werkblad te noteren. Een groepje stelde bijvoorbeeld dat het geen verschil zou uitmaken of één of twee boeken gebruikt werden: de schaduwen zouden even donker zijn. Dit groepje ontwierp een experiment om dit aan te tonen (zie figuur 10). Deze leerlingen concludeerden echter dat zij gezien hadden dat het gebruiken van gekleurd licht geen verschil uitmaakt voor de kleur van de schaduw. Blijkbaar hadden zij hun experiment gaandeweg veranderd en daardoor sloot hun conclusie niet meer aan op hun bewering. De leerlingen gebruikten wel de resultaten om een nieuwe bewering op te stellen.

Tijdens het uitvoeren van de experimenten waren er meer groepen die andere dingen gingen uitproberen dan zij oorspronkelijk van plan waren. Zij voerden meer experimenten uit dan zij in hun werkblad beschreven hadden, zoals op te maken is uit hun bevindingen in het voorbeeld van figuur 11. Ze hebben conclusies getrokken naar aanleiding van hun experimenten en hebben meer geleerd over het verschijnsel, maar er was geen verband tussen hun experimenten en hun oorspronkelijke bewering over de zon (of de schaduw?) die niet uit zichzelf donkerder werd.



Figuur 10. De opzet van het experiment over schaduwen.



Figuur 11. De groepsbewerking, de opzet van het experiment en de conclusies uit het experiment over schaduwen.

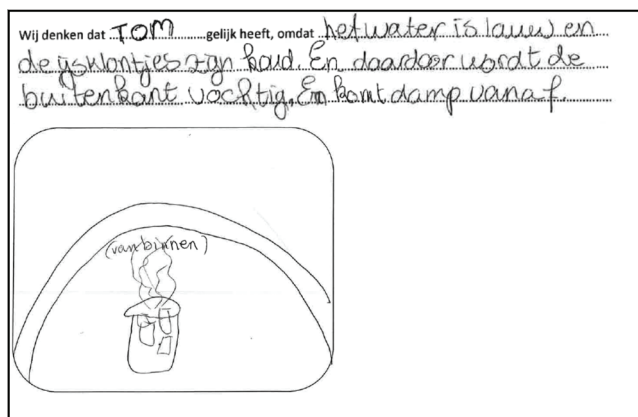
Bij vier van de zeven groepen verschilden de beschreven resultaten in hun werkbladen met hun acties in de klas bij het experimenteren met schaduwen: de leerlingen voerden niet de experimenten uit zoals zij die van tevoren bedacht hadden. Dat was ook het geval bij de cartoon over condensatie (één van de zes groepen) en bij de cartoon over wrijving (twee van de zes groepen). Tijdens het uitvoeren van de experimenten veranderden de leerlingen de variabelen of de materialen. Zij noteerden deze veranderingen niet op hun werkblad. Deze leerlingen hadden overigens geen ervaring met het werken met soortgelijke werkbladen: in dit onderzoek deden zij dit voor het eerst. Dit is een vaardigheid die, los van het gebruik van concept cartoons, leerlingen geleerd zal moeten worden.

Uit deze observaties blijkt dat de docent nodig is om de leerlingen te leren hoe notities te maken in een logboek bij natuur- en technieklessen. Juist door het enthousiasme van de leerlingen kan een docent gemakkelijk vergeten op deze basisvaardigheden te letten.

Een ander probleem dat zich voordeed is dat de leerlingen niet altijd goed begrepen hoe zij hun resultaten moeten interpreteren. Bij de cartoon over condensatie wilde een groepje leerlingen uitzoeken of kou de oorzaak was van de condensatie van water in de lucht (zie figuur 12). Hun groepsbewering was dat Joris gelijk had: het glas wordt nat, omdat de kou verandert in water op het glas. Ze ontwierpen een experiment waarbij zij twee glazen met water vulden, één met warm water en één met koud water, en wilden bekijken of er condensatie zou optreden. Ze noteerden dat alleen condensatie plaatsvond op het glas met koud water en hun conclusie was vervolgens dat kou de oorzaak is van het condensatieproces. Zij hadden zich niet gerealiseerd dat zij nog steeds geen antwoord op de vraag hadden of de *kou* of de *waterdamp* in water veranderd was. Is kou een stof of kan het in een stof veranderen? Hun bevindingen ondersteunden hun hypothese. Het zelf ontwerpen van experimenten leidt dus niet per definitie tot het vinden van de wetenschappelijk 'juiste' antwoorden. We kennen dat trouwens ook vanuit de wetenschapsgeschiedenis: zie bijvoorbeeld Wiser en Carey (1983) over de 'experimentors' van de zeventiende-eeuwse Italiaanse Academie die het verschil tussen warmte en temperatuur nog niet onderkenden en zie Mason (1962, p. 302-313) over de phlogiston-theorie.



Figuur 12. De groepsbewering en de opzet van het experiment over condensatie.



Figuur 13. De groepsbewering en de opzet van het experiment over condensatie met een kom over het glas heen.

Een ander voorbeeld is een experiment waarbij de leerlingen stelden dat het glas nat werd door de waterdamp uit het water. Ze waren van plan een bewijs te vinden voor hun bewering dat de waterdamp uit het glas met water komt, door een experiment waarbij zij een glazen kom over het glas heen zetten (zie figuur 13). In de beschrijving van hun resultaten stond dat ze hadden gezien dat de kom aan de binnenkant nat was geworden en dus dat het water uit het glas kwam. Hun conclusie was dat hun bewering klopte. Ze realiseerden zich echter niet dat ze geen bewijs hadden dat de waterdamp uit de lucht rond het glas komt of uit het water. Zij hadden in een vervolgonderzoek een deksel op het glas kunnen doen om vast te kunnen stellen of het condenswater al in de lucht zat of uit het glas kwam.

### **Redeneringen onder woorden brengen**

De leerlingen voerden de experimenten met enthousiasme uit, wat bleek uit observaties en uit de antwoorden van de leerlingen als wij hen vroegen wat ze ervan vonden. Het was voor de leerlingen echter moeilijk om de opzet van hun experiment en hun conclusie goed op papier uit te werken. De leerlingen hebben nog niet de juiste woordenschat of ze zijn niet gewend om te formuleren wat zij denken. Het kan ook zijn dat zij het schrijven zien als een onwelkome afleiding van het leuke werk, zoals met elkaar discussiëren en de experimenten uitvoeren.

Zoals eerder beschreven hebben wij drie verschillende concept cartoons gebruikt, waarbij elke cartoon in twee lessen werd behandeld: één les op woensdag waarin de leerlingen discussieerden over de cartoon en een experiment ontwierpen, en één les op vrijdag om het experiment uit te voeren en de bevindingen te rapporteren. In de lessen op de woensdagen namen de leerlingen over het algemeen enthousiast deel aan de discussies in hun groepje. De leerlingen met de rol van 'schrijver' waren zich bewust van hun verantwoordelijkheid voor het registreren van de uitkomsten en argumenten, maar de druk om alles ook te moeten opschrijven bleek uiteindelijk een remmend effect te hebben. In het in figuur 14 weergegeven voorbeeld van een groepsdiscussie rond de cartoon over condensatie wordt duidelijk dat het zwaartepunt van de discussie ligt bij de wijze waarop alles genoteerd dient te worden. De leerlingen lieten zich voornamelijk leiden door het feit dat de redeneringen opgeschreven moesten worden. Ze namen niet de tijd om te discussiëren over hun gedachten en argumenten. Het lijkt er zelfs op dat één leerling al een argument in zijn hoofd heeft en dat argument op papier probeert te formuleren, terwijl de andere leerlingen hem hierin ondersteunen. Wanneer we kijken naar de individuele argumenten van elke leerling in dit groepje, zien we dat inderdaad het betreffende argument genoteerd wordt als groepsargument, zoals weergegeven in figuur 15.

Een ander voorbeeld is de in figuur 16 en 17 weergegeven groepsdiscussie, waarin een leerling zeker is van zijn argumenten en dit probeert uit te leggen aan de andere leerlingen. Hij is tevens de 'schrijver' en gebruikt deze macht om zijn argumenten op te schrijven zonder de meningen van zijn groepsleden in acht te nemen. Wat we kunnen opmaken uit de transcriptie is dat de leerlingen soms observaties gebruiken om hun bewering te

ondersteunen. Maar wordt de discussie opgelost door te redeneren met concepten en bewijzen? Nee, dat niet echt.

|     |                                                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|
| LL1 | Dan komen druppeltjes op het glas                                             |
| LL2 | Ja                                                                            |
| LL1 | Toch?                                                                         |
| LL# | Klopt                                                                         |
| LL2 | Omdat... wel weer uh...                                                       |
| LL4 | (...) doorzichtig wordt                                                       |
| LL2 | Ja                                                                            |
| LL2 | Dus in een warm huis                                                          |
| LL3 | Oké                                                                           |
| LL1 | In een warm huis                                                              |
| LL2 | Is waterdamp, maar dat koelt af en wordt water bij een koud glas              |
| LL1 | In een warm                                                                   |
| LL4 | Immer, moet we nu allemaal op gaan schrijven wat je nu allemaal verteld hebt? |
| LL1 | In een warm                                                                   |
| LL2 | Nee, alleen...                                                                |
| LL4 | Wat moeten we opschrijven?                                                    |
| LL1 | In een warm water huis                                                        |
| LL2 | Nee, in een warm huis                                                         |
| LL2 | In een warm huis is waterdamp                                                 |
| LL3 | Huis...                                                                       |
| LL# | Is er wa-ter-damp...                                                          |
| LL1 | En ga verder                                                                  |
| LL3 | Ik kan niet schrijven, ik heb niet eens zoveel ruimte                         |
| LL2 | Als                                                                           |
| LL1 | Kijk daar is veel ruimte!                                                     |
| LL3 | Yo, makker, ik ga toch niet zo schrijven                                      |
| LL4 | Haha                                                                          |
| LL2 | En als...                                                                     |
| LL4 | Tis waterdamp, en?                                                            |

Figuur 14. Groepsdiscussie rond de concept cartoon over condensatie.

| Groepsbewering                                                                                      | Individuele beweringen                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tom, in een warm huis is waterdamp en als die bij het koude glas komt worden het weer waterdruppels | <p>Oliver: Tom, omdat de koude lucht die van het water afkomt veranderen in dauwdruppeltjes</p> <p>Jari: Tom, ik vind het logisch klinken.</p> <p>Immer: Tom, in een warm huis er waterdamp aanwezig is en als dat koud word, word het weer vloeibare substantie.</p> <p>Daan C.: Joris, ik vind het logisch.</p> |

Figuur 15. Individuele beweringen voordat de groepsdiscussie plaatsvond (rechts) in relatie tot de uiteindelijke groepsbewering (links). In de transcriptie zijn de leerlinguitspraken letterlijk overgenomen.

Wij denken dat ... Tom ... gelijk heeft, omdat het waterdamp snel ontstaat.  
 Ik denk dat waterdamp uit de lucht veranderend is in  
 waterdruppels op het glas.

Figuur 16. De groepsbewering van het experiment over condensatie, voorafgaand aan de groepsdiscussie van figuur 17 tijdens het experiment.

|       |                                                                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LL1   | Wij denken dat Tom gelijk heeft, omdat                                                                                           |
| LL3/4 | Ja                                                                                                                               |
| LL3   | Ik denk dat Joris gelijk heeft                                                                                                   |
| LL1   | Nee, want het glas wordt nat, want de kou in het... verandert in het water dat glas, dat is niet zo, want dat is wa-ter-damp     |
| LL3   | Klopt, met kou                                                                                                                   |
| LL2   | Gek!                                                                                                                             |
| LL3   | Kou!                                                                                                                             |
| LL1/2 | Waterdamp                                                                                                                        |
| LL3   | Kou is van, is van, is van dat spul dat omhoog komt als het heel koud is                                                         |
| LL5   | Kijk, jongens, kijk!                                                                                                             |
| LL5   | Das ook waterdamp                                                                                                                |
| LL3   | Waar?                                                                                                                            |
| LL5   | Kijk, kijk dan onder! Wat het glas doet, das waterdamp                                                                           |
| LL4   | Ja, das gewoon water                                                                                                             |
| LL5   | Dat druppelt naar beneden                                                                                                        |
| LL#   | Ja, kijk maar, kijk maar                                                                                                         |
| LL1   | Tom heeft gelijk, omdat                                                                                                          |
| LL3   | Want kijk, het is koud en dan gaat het naar buiten, en dat komt het zo omhoog die kou, gaat omhoog en zakt dan weer naar beneden |
| LL1   | Echt niet! Voor de zoveelste keer!                                                                                               |
| LL3   | Hou je kop dicht!                                                                                                                |
| LL1   | Timo heeft niet gelijk                                                                                                           |
| LL4   | Maar Timo heeft gelijk                                                                                                           |
| LL4   | Het is waterdamp                                                                                                                 |
| LL3   | Maar ik vertel mijn mening even, dus laat gewoon mijn mening zeggen                                                              |
| LL2   | Wij denken dat...                                                                                                                |
| LL1   | Dat Tom gelijk heeft, omdat                                                                                                      |

Figuur 17. Groepsdiscussie tijdens het experiment over condensatie.

## 5. Conclusies en discussie

*Kunnen concept cartoons functioneren als een laagdrempelige start om kinderen hun eigen experimenten te laten ontwerpen? Welke moeilijkheden ervaren ze daarbij?*

Ja, dat kunnen zij. In onze heterogene groep 7 met leerlingen die geen tot weinig ervaring hadden met experimenteren en hands-on leren waren de leerlingen in staat om spontaan en creatief experimenten te ontwerpen. Sommige cartoons inspireerden de leerlingen tot meer gevarieerde ideeën en experimenten dan andere cartoons. De cartoon over de schaduwen bijvoorbeeld leidde tot de minst creatieve experimenten, terwijl de cartoon over wrijving de leerlingen aanzette tot veel verschillende experimenten. Onze ervaringen op andere scholen in verschillende groepen variërend van groep 6 tot 8 ondersteunen deze conclusie. Echter, niet alle experimenten leidden tot een duidelijke toetsing van de door de leerlingen gekozen claim. In sommige experimenten was rekening gehouden met verschillende variabelen, maar bij de meerderheid van de experimenten was dit niet het geval. Kortom, het gebruik van cartoons als starter is inderdaad een laagdrempelige methode om leerlingen te betrekken in ontwerp en interpretatie van experimenten, iets waarin veel standaard-practicuminstructies tekort schieten (Tamir & Lunetta, 1981; Germann et al., 1996), maar met goede begeleiding zal gewerkt moeten worden aan de typische problemen die leerlingen daarbij ondervinden. De gevonden problemen komen goed overeen met het overzicht van Duschl et al. (2007, p129-167).

*Leidt dit proces tot redeneren met begrippen en resultaten uit experimenten? Welke typische problemen doen zich daarbij voor?*

Concept cartoons zijn zeker een effectieve stimulans om tot redeneren aan te zetten. De manier waarop de cartoons geïntroduceerd kunnen worden is eenvoudig en er is weinig voorbereiding van de docent nodig om de leerlingen aan de gang te krijgen. Echter, bij vergelijken van de beweringen, de experimenten en de conclusies van de leerlingen komt naar voren dat deze leerlingen, zonder ervaring in onderzoekend leren, nog veel ondersteuning nodig hebben om deze vaardigheden te verbeteren. De argumenten die de leerlingen gebruiken zijn soms wel ingegeven door de resultaten uit de experimenten, maar vaker ook niet. De leerlingen zijn in staat om te redeneren, maar laten zich ook gemakkelijk afleiden door andere invloeden binnen de klassensituatie, zoals ruzie met medeleerlingen. Bij het invullen van het werkblad blijken de notities van de leerlingen niet nauwkeurig of verwijzen de leerlingen bij hun conclusie niet terug naar de claim en hun resultaten. Dit klopt met resultaten van Garcia-Mila en Anderson (2007) van leerlingen uit groep 6 die weinig aantekeningen maakten en dan vooral beperkt tot conclusies in plaats van gegevens waarop je conclusies zou kunnen baseren. Aantekeningen maken moet je leren. Resultaten van de 'notebook' methode van Klentschy (2008) laten zien dat een leerlijn met consistente aandacht voor notebooks van kinderen in deze leeftijdsgroep tot sterke verbetering kan leiden, maar dergelijke begeleiding is zeker niet laagdrempelig voor de docent en vereist een ontwikkeltraject voor docent en leerlingen.

De meeste leerlingen laten bepaalde onderzoeksvaardigheden, zoals het gebruiken van bewijsmateriaal wanneer zij een bewering formuleren en het gebruiken van argumen-

ten om de bewering te ondersteunen of te weerleggen, niet uit zichzelf zien wanneer zij geen gericht onderwijs krijgen om de vaardigheden aan te leren.

In ons onderzoek is naar voren gekomen dat de docent met weinig voorbereiding een les kan doen met concept cartoons. Echter, de docent kan de les met concept cartoons op een hoger niveau brengen door zorgvuldig te overwegen wanneer welke cartoon te gebruiken, hoe de cartoon in te zetten om welke vaardigheden te ontwikkelen en tenslotte door de discussie, het proces van het ontwerpen van de experimenten en het gebruiken van bewijsmateriaal om beweringen te onderbouwen te begeleiden.

Wanneer de leerlingen meer ervaring opgedaan hebben met het gebruik van materiaal en het ontwerpen van experimenten kan de docent de leerlingen ondersteunen om de resultaten te interpreteren, variabelen te gebruiken, controle-experimenten op te zetten enzovoort om het niveau van experimenteren en interpreteren te verhogen. Op deze wijze worden de leerlingen begeleid in het gebruiken van bewijsmateriaal wanneer zij een bewering formuleren en om argumenten te gebruiken om de bewering te ondersteunen of te weerleggen.

We willen dit artikel besluiten met een prachtige opmerking van een meisje dat gewerkt had met de cartoons over schaduwen en tot de volgende conclusie kwam: "Dat je dus eigenlijk geen kleur hebt, alleen maar als er licht is!"

### **English summary**

Concept cartoons (Naylor & Keogh, 1999, 2012; Naylor et al., 2007) are often used to diagnose student conceptions and to get students to reason with concepts. Concept cartoons can also be used to get students to design experiments to investigate the phenomenon depicted in the cartoon, and then use the results in reasoning with evidence and concepts. In six lessons with three concept cartoons we investigated to what extent primary school children without earlier laboratory experience in science education were able to design experiments, and to use the results to support their arguments in a discussion. Which problems occur? The research was carried out in a grade 5 class with 29 students in Amsterdam. The learning process and results were documented through video and audio recordings, observation reports, and individual and group worksheets of the children.

The children are very quick in thinking of experiments to investigate the phenomenon in the cartoon, but they still lack the inquiry skills needed. When executing the experiments quite a few children forget their own original research questions and design, and then the evidence obtained does not match their questions and design. The cartoons differed in their potential to elicit productive investigations. The teacher can improve his or her cartoon lessons by carefully choosing the cartoons, and considering how to use them and which inquiry skills to emphasize. The teacher should also consider how to guide and develop student discussion and the process of designing an experiment, and how to develop the children's abilities to reason with evidence and concepts.

## Dankwoord

Met dank aan de anonieme reviewer voor het grondige en opbouwende commentaar op een eerdere versie van dit artikel.

## Literatuur

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1949-1965.
- Chin, C., & Teou, L.Y. (2009). Using concept cartoons in formative assessment: Scaffolding students' argumentation. *International Journal of Science Education*, 10(1), 1307-1332.
- Department for Education (1999). *Science in the National Curriculum 1999*.  
<http://www.education.gov.uk/schools/teachingandlearning/curriculum/primary/b00199179/science/ks2/sc1>  
<http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/resource/2910/science-in-the-national-curriculum-1999>
- De Vaan, E., & Marell, J. (2012). *Praktische didactiek voor natuuronderwijs*. Bussum: Coutinho.
- Driscoll, M. (2005). *Psychology of learning for instruction*. Pearson Education.
- Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (Eds) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Garcia-Mila, M., & Andersen, C. (2007). Developmental change in note taking during scientific inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(8), 1035-1058.
- Germann, P.J., Haskins, S., & Auls, S. (1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 475-499.
- Gopnik, A. (2012). Scientific thinking in young children: Theoretical advances, empirical research, and policy implications. *Science*, 337, 1623-1627.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85-142.
- Keogh, B., & Naylor, S. (1996). Teaching and learning in science: A new perspective. Manchester Metropolitan University. Paper gepresenteerd op de BERA Conference, Lancaster.
- Keogh, B., & Naylor, S. (1998). Teaching and learning in science using concept cartoons. *Primary Science Review*, 51, 14-16.
- Keogh, B., & Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431-446.
- Klentschy, M.P. (2008). Using science notebooks in elementary classrooms. Washington, DC: NSTA Press.

- Klentschy, M., & Molina-De La Torre, E. (2004). Students' science notebooks and the inquiry process. In: E.W. Saul (Ed.), *Crossing borders in literacy and science instruction: Perspectives on theory and practice*. Arlington, VA: NSTA Press.  
<http://www.aea10.k12.ia.us/vastscience/EICentroSciNotebooks.pdf>, geraadpleegd 29 november 2008.
- Lunetta, V.N., Hofstein, A., & Clough, M.P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research and practice. In: S.K. Abell & N.G. Ledermann (Eds), *Handbook of research on science education* (pp. 393-442). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mason, S.F. (1962). *A history of sciences*. New York: Macmillan.
- Millar, R., & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Miles, V., & Van Deventer, W. (1961). The teaching of science at the college and university level. *Review of Educational Research*, 31(3), 305-313.
- Naylor, S., & Keogh, B. (2000, 2011). Concept cartoons in science education. Sandbach, UK: Millgate House.
- Naylor, S., Keogh, B., & Downing, B. (2007). Argumentation and primary science. *Research in Science Education*, 37, 17-39.
- Naylor, S., & Keogh, B. (2012). Concept cartoons, what have we learnt? Paper gepresenteerd op de Fibonacci Conference, Leicester, 26-27 april 2012.  
<http://www.millgatehouse.co.uk/research/concept-cartoons-researchongoing>, geraadpleegd 29 april 2012.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- PPON (2011). Balans van het natuurkunde- en techniekonderwijs aan het einde van de basisschool 4. Uitkomsten van de vierde peiling in 2010. Arnhem: Cito.
- Primary Connections (2008). *Science teacher guides for age 4-12*. Canberra: Australian Academy of Science.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission Directorate-General for Research.
- Simon, S., Naylor, S., Keogh, B., Maloney, J., & Downing, B. (2008). Puppets promoting engagement and talk in science. *International Journal of Science Education*, 30(9), 1229-1248.
- Smith, C.L., Maclin, D., Houghton, C., & Hennessey, M.G. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18(3), 349-422.
- Tamir, P., & Lunetta, V.N. (1981). Inquiry-related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education*, 65(5), 477-484.

- Tytler, R., & Peterson, S. (2003). Tracing young children's scientific reasoning. *Research in Science Education*, 33, 433-465.
- Van den Berg, E. (2012). Natuurwetenschap en techniek: heen-en-weer denken tussen begrippen en verschijnselen, redeneren met begrippen en met bewijsmateriaal. *NVOX*, 37(4), 176-177.
- Wiser, M., & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In: D. Gentner & A. Stevens (Eds), *Mental models* (pp. 267-297). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.