



DR. E. VAN DEN BERG

Natuurwetenschap en techniek in het basisonderwijs

*Van hands-on naar minds-on,
van manipuleren van objecten
naar manipuleren van ideeën*



Hogeschool van Amsterdam

Natuurwetenschap en techniek in het basisonderwijs

Natuurwetenschap en techniek in het basisonderwijs

*Van hands-on naar minds-on, van manipuleren van
objecten naar manipuleren van ideeën*

Openbare Les

uitgesproken op woensdag 16 juni 2010

door

Dr. E. van den Berg

Lector Wetenschap en Techniekonderwijs aan de Hogeschool van Amsterdam

Dit lectoraat is onderdeel van het Expertisecentrum Wetenschap & Techniek (www.ewt-nh.nl). Het Expertisecentrum Wetenschap & Techniek is een samenwerkingsverband tussen de Pabo HvA, IPABO, Pabo INHolland, Pabo Almere, AMSTEL Instituut Universiteit van Amsterdam, Science Center NEMO, Artis en RTCA, en wordt gefinancierd door Platform Beta Techniek (www.platformbetatechniek.nl).

HVA PUBLICATIES

HvA Publicaties is een imprint van Amsterdam University Press.
Deze uitgave is tot stand gekomen onder auspiciën van de Hogeschool van Amsterdam.

Omslagillustratie: *Handen*, Pieter Schunselaar, fotocollectie Hogeschool van Amsterdam
Vormgeving omslag: Kok Korpershoek, Amsterdam
Opmaak binnenwerk: JAPES, Amsterdam

ISBN 978 90 5629 635 3

e-ISBN 978 90 4851 321 5

© E. van den Berg / HvA Publicaties, Amsterdam, 2010

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

Voorwoord

Wetenschap en Techniek (W&T) worden met vaart de basisschool ingeduwed. Het werd tijd, gezien de enorme voorsprong van andere landen op dit gebied, en de rijke leeromgeving die W&T bieden. Maar wil je met zo'n vakgebied belangstelling voor bèta en techniek kweken, of veel meer? En hoe geef je vorm aan het onderzoekend leren dat gepropageerd wordt? Hoe krijg je kinderen van manipuleren van objecten in een onderzoekje, naar manipuleren van ideeën en begrippen? En hun leerkrachten tot het effectief begeleiden daarvan?

Deze Openbare Les geeft een rondleiding door de keuken van de W&T-practicumdidactiek en onderzoekend leren. De tekst in dit boekje is uitgebreider en vollediger dan de Openbare Les zelf. Enkele onderdelen komen in de lezing zelfs niet aan de orde.

1. Doelen van Wetenschap en Techniek op de basisschool

Het Engelse National Curriculum zegt het zo (QCA, 2009):

'Children live in an age of fast-moving science and design and technology. This area of learning is fundamental to exploring, understanding and influencing the natural and made worlds in which we live. It offers a wealth of experiences and ideas that encourage children's natural curiosity and creativity, inspiring awe and wonder. Science supports the development of technology and advances in technology lead to new scientific discoveries, shaping how we live safe and healthy lives in our rapidly changing society. This area of learning helps children to find new ways of looking at the world and to engage with changing explanations about how the world works. They learn to value ideas and to see talking, thinking and imagining as essential elements in developing understanding and new processes.

Children tackle problems, forming questions, generating and testing ideas and designs and deciding how to seek solutions. They gather and make sense of evidence, test out hypotheses and evaluate processes and outcomes. They learn the possibilities of science, design and technology, inspiring them to become the scientists, engineers, designers and innovators of the future and how to be informed citizens responsive to the needs of others and the world in which they live.'

Dit is een ambitieuze motivatie voor het leergebied W&T op de basisschool, maar wel gesteund door twintig jaar ervaring met ontwikkeling en implementatie van een National Curriculum.

De afgelopen vijftien jaar hebben veel landen geïnvesteerd in (natuur)Wetenschap en Techniek in het primair onderwijs. Vaak spelen de nationale Academies van Wetenschappen daarin een belangrijke rol. Frankrijk adopteerde in 1996 het Amerikaanse INSIGHTS en ontwikkelde daaruit La Main à la Pâte op initiatief van de Franse Academie van Wetenschappen en van Nobelprijswinnaar Georges Charpak. Zweden adopteerde in 1998 het Amerikaanse programma Science Technology and Children dat met steun van de Amerikaanse Academie van Wetenschappen ontwikkeld was. De Zweedse Academies van Wetenschappen en Engineering namen het initiatief en zijn nog steeds nauw betrokken bij de implementatie ervan. En het Australische Primary Connections-programma was een initiatief van de Australische Academie van Wetenschappen. In Nederland organiseerde de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) in 2004 de conferentie *Science is Primary* samen met het AMSTEL Instituut – een onderdeel van de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de Universiteit van Amsterdam dat nauw samenwerkt met de Hogeschool van Amsterdam. De huidige KNAW-president Robbert Dijkgraaf startte de site www.proefjes.nl voor het basisonderwijs en is ook op andere manieren bij het basisonderwijs betrokken. Het Platform Bèta Techniek stimuleert W&T-onderwijs op de basisschool als onderdeel van een strategie om meer interesse te kweken voor bètavakken en techniek, en een keuze later voor carrières in deze vakken. Het idee is dat de interesse bij kinderen vóór de puberteit, en dus op de basisschool gevormd moet worden. Maar primair W&T-onderwijs is niet alleen een middel om interesse te kweken, het is een legitiem basisschoolleergebied, met als doelen observatie, exploratie en kritische redeneervaardigheden bij kinderen te ontwikkelen, en interesse te wekken in het begrijpen van natuurverschijnselen en techniek. In de woorden van de Australische Academy of Science:

‘The Academy is committed to promoting science education, both as a contribution to informed citizenship and to encourage young people to prepare themselves for careers based on science and technology.’

De argumenten voor W&T-onderwijs op de basisschool zijn bekend en – denk ik – onomstreden (Harlen & Qualter, 2004; QCA, 2009):

- De kennis van de natuur om ons heen en van door mensen ontworpen objecten en methoden (techniek) zijn belangrijke onderdelen van de wereld van volwassenen en kinderen. Wereldoriëntatie kan niet compleet zijn zonder natuurwetenschap en techniek.
- Ontwikkelen en ondersteunen van nieuwsgierigheid en verwondering over de wereld. Kinderen verkennen de wereld om zich heen en het vak W&T vormt een natuurlijke match met die verkenningsdrift.

- W&T speelt een belangrijke rol in onze economie en in veel banen van de toekomst. Het is dus belangrijk voor zowel samenleving als kind dat kinderen kennismaken met W&T en er interesse voor ontwikkelen.
- Burgers worden geconfronteerd met veel politieke en persoonlijke beslissingen waarin kennis van natuur en techniek een rol speelt. Voorbeelden zijn milieuproblemen, voeding, gezondheid en energie. *Scientific and technological literacy*¹ is een voorwaarde voor een moderne samenleving.
- Het leergebied W&T is zeer geschikt om bij te dragen aan de ontwikkeling van logisch denken, waaronder redeneren met bewijsmateriaal (*reasoning with evidence*) en denken vanuit verschillende gezichtspunten.

We kunnen deze doelen indelen in **inhoud** (kennis van feiten, begrippen, theorieën, verklaringen van verschijnselen), **methode** (kennis en vaardigheden voor het genereren en valideren van kennis), en **attitude**. Attitudedoelen zijn interesse in W&T, nieuwsgierigheid en een vragenstellende houding, doorzettingsvermogen, zorgvuldigheid, en respect voor bewijsmateriaal. Dewey (geciteerd in Kuhn, 1997) schreef al in 1933 over de behoefte aan transformatie van ‘more or less casual curiosity and sporadic suggestion into attitudes of alert, cautious, and thorough inquiry’. Net als in elk ander leergebied of in elke andere vorm van onderwijs, moet W&T-onderwijs expliciet doelgericht zijn om doelen te bereiken.

Connecties met andere leergebieden

W&T heeft veel potentie om leerdoelen van andere leergebieden te ondersteunen:

- *Redeneren* is belangrijk voor alle leergebieden van het curriculum, maar natuurwetenschap is bij uitstek geschikt voor leren redeneren, vooral vanwege de mogelijkheid vanuit verschillende gezichtspunten te redeneren en daarbij *bewijsmateriaal* te gebruiken in plaats van meningen en emoties.
- *Communicatie*: Natuurwetenschap is een zaakvak. In zaakvakken wordt taal gebruikt op dezelfde manier als in de volwassenenwereld op het werk. Vanwege het gebruik van concrete objecten, visualisatiemogelijkheden en redeneren is W&T geschikt als middel om kinderen die Nederlands leren als tweede taal (zogenoemde NT2-kinderen) te helpen in hun taalontwikkeling (Beek & Verhallen, 2004; Klentschy, 2008).
- *Rekenen/wiskunde*: W&T geeft een natuurlijke context om met getallen, eenheden en representaties/modellen te werken via meten, representeren, rekenen en schatten.
- *Andere leergebieden* hebben aanknopingspunten voor W&T. Bijvoorbeeld geschiedenis (scheepsbouw, navigatie, Industriële Revolutie, wereldbeeld)

en aardrijkskunde (grondstoffen, weer en klimaat), maar ook kunst. W&T heeft artistieke en esthetische kanten die gemakkelijk in lessen geïntegreerd kunnen worden (zie: Damsma & Berg, 2008; Bustraan & Dirks, 2008, 2009).

- *Samenwerken* door samen onderzoekjes uit te voeren met gebruik van technieken voor samenwerkend leren (Primary Connections, 2005).
- *Sociale ontwikkeling* door kinderen te helpen in het herkennen hoe meningen worden gevormd en hoe experimenteel bewijsmateriaal daarin een rol kan spelen in plaats van vooroordeel.

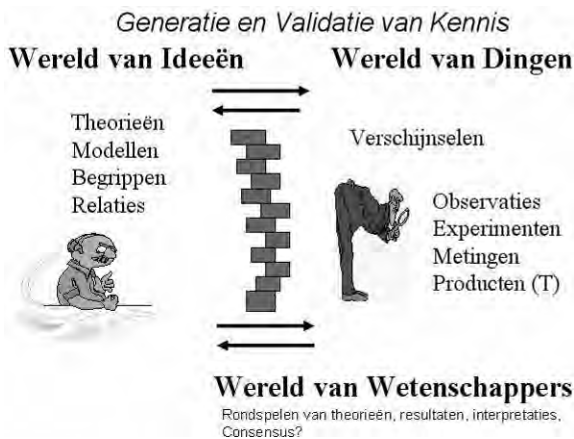
Alle moderne W&T-programma's voor de basisschool benadrukken onderzoekend en ontwerpend leren als doel en als middel. Daarin is een belangrijke rol weggelegd voor het 'doen' van wetenschap en techniek, voor het experimenteren door kinderen. Dat is wat we in deze lezing onder de loep nemen. Eerst presenteren we een eenvoudig model voor wetenschap en de rol van experimenten. Vervolgens kijken we vanuit verschillende invalshoeken naar de didactiek van leren met experimenten.

2. De kern van de wetenschap: heen-en-weer denken tussen model en werkelijkheid

In de wetenschap gaat het om het genereren en valideren van kennis. We onderscheiden twee werelden (figuur 1): de wereld in ons hoofd biedt plaats aan theorieën, modellen, begrippen en relaties, de wereld om ons heen aan dingen, verschijnselen, observaties, experimenten en metingen. In de Wereld van Ideeën genereren onderzoekers nieuwe ideeën, theorieën en modellen. In de Wereld van Dingen worden die theorieën en modellen getoetst. Vervolgens proberen onderzoekers resultaten te interpreteren met theorieën en een begrippenkader in de Wereld van Ideeën. Onderzoek kan starten in de Wereld van Dingen, maar ook dan kijken onderzoekers (volwassenen en kinderen) bewust of onbewust door de lenzen en filters van hun reeds aanwezige kennis. Want 'het boek der natuur laat zich niet lezen door lege hoofden'. Zonder die wereld van het hoofd is het niet mogelijk informatie te verkrijgen uit de wereld van verschijnselen. Zonder een proces van sturen van zintuigen en interpreteren van zintuiglijke informatie is er niets. Zonder confrontatie tussen geheugen en begrippenapparaat versus waarneming kan ons niets 'opvallen'. Aan de andere kant, zonder een wereld van verschijnselen is het hoofdwerk alleen maar theorie of zelfs fantasie. Dat had Francis Bacon goed gezien (Mason, 1962, p. 141). De verschijnselen dienen als een bron voor validatie van ideeën en theorieën maar ook als speeltuin voor het genereren van nieuwe ideeën in

een complexe mix van inductieve en deductieve *mind play*. Dit idee van twee werelden is niet alleen een handig idee om naar wetenschap te kijken, het is ook goed toepasbaar op het gebruik van ons brein in het dagelijks leven.

Er is nog een derde wereld, namelijk de wereld van onderzoekers. Begrijpen, ideeën en resultaten worden rondgespeeld in informele groepjes van onderzoeksmedewerkers en wetenschappelijke vrienden, en formeel via conferentiepresentaties en publicaties. De discussies in de wereld van wetenschappers dragen bij tot het proces van het genereren en valideren van kennis en monden uiteindelijk uit in verbeterde theorieën en modellen.



Figuur 1: Generatie en validatie van kennis

In figuur 1 herkennen we de empirische cirkel met reflectie van De Groot (Groot, 1969, p. 28). Die cirkel bestaat uit 1) observatie of groepering van empirisch materiaal, 2) inductie: formulering van hypothesen, 3) deductie: afleiden van toetsbare consequenties van hypothesen, 4) toetsing aan nieuw empirisch materiaal, en 5) evaluatie en follow-up. Items 1 en 4 gebeuren in de wereld van verschijnselen. Items 2, 3, en 5 vinden plaats in de wereld van ideeën – hoewel 1 eigenlijk gebeurt op de grens van de twee werelden. De evaluatie mondt meestal uit in nieuwe vragen en een nieuwe cyclus.

In techniek vindt een soortgelijk proces plaats. In plaats van genereren en valideren van kennis gaat het daar om genereren en valideren van oplossingen voor problemen. Ook dit proces van problemen oplossen, ontwerpen en maken gaat door cycli van heen-en-weer denken tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen. Naast een Wereld van Ingenieurs/Technici is er dan

ook nog de 'markt' van opdrachtgevers of consumenten die een eindoordeel velt over het ontwerp of product. De essentie van W&T is het heen-en-weer denken tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen.

3. Kinderen en modeldenken

Het is natuurlijk heel aardig om een simpel modelletje op te zetten over hoe wetenschap werkt, maar zegt dat iets over hoe kinderen met wetenschap en met hun natuurlijke omgeving omgaan? Is die interactie tussen begrippen en ideeën en de wereld van verschijnselen niet typisch iets voor het volwassen brein? Inductieve en deductieve *mind play*, dat kan toch niet zonder Piagets formeel-operationele operaties (Flavel, 1963, p. 202 e.v.)?

Een voorbeeld uit eigen onderzoek

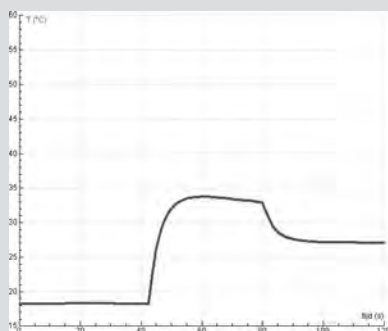
Kinderen uit groep 1 en 2 zijn al een paar lessen bezig met spiegels en reflecties. Ineens wijst Sven (leeftijd 5 jaar) naar het plafond. Golven op het plafond! Wat is dat? Hij geeft zelf correct de oorzaak aan: De zon schijnt op het water en naar het plafond. Deze kleuter kan de ideeën van spiegelen, zon, water en plafond al op een zinvolle manier bij elkaar brengen! Hij heeft een *mental image* van het verschijnsel en kan het beschrijven. Hij heeft begrippen gekoppeld aan verschijnselen (Damsma et al, 2009)

Stijn komt in een groep 3-les over wat zaadjes nodig hebben om te ontkiemen met het volgende: *Eigenlijk is eten van de mens als water eten voor de bloem. Dus als ik eet dan groei ik, als de bloem drinkt dan groeit hij.* Dit is in groep 3 krachtig analogiedenken met begrippen. En ze hebben best door dat niet alles klopt aan een analogie, want na wat discussie zegt een kind: *Maar planten hebben geen mond.* Waarop het antwoord van Stijn luidt: *De wortels, die drinken voor de plant.*

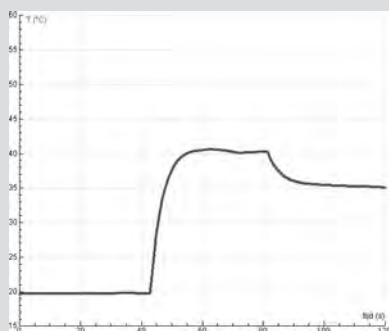
Het manipuleren van ideeën ligt zeker binnen het bereik van jonge kinderen. Overigens, het idee dat planten hun voedingsstoffen vooral via de wortels krijgen is een misconcept, maar daar kun je Stijn niet de schuld van geven als Harvard-studenten er net zo over denken (A Private Universe, 1997). Het grootste deel van de massa van planten en bomen komt van de CO₂ die door

de bladeren uit de lucht wordt geabsorbeerd, en wordt omgezet in bouwstenen en voedingsstoffen voor plant en boom.

Temperatuur en tijd volgens Rina



Grafiek A



Grafiek B

Figuur 2: Temperatuur versus tijd-grafieken

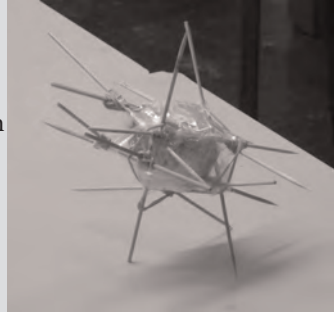
Per klas zijn er maar een paar van die slimme kinderen als Stijn, zult u zeggen. Maar Rina is er ook. Rina is een groep 7-leerling die rekt op het niveau van groep 6. Volgens de leerkracht is ze de zwakste leerling van de klas.

Rina doet een activiteit met een afstandsensensor in maart en met een temperatuursensor in april, totaal 2 x 20 minuten. Eind mei wordt haar in een interview gevraagd hoe je de situatie in figuur 2A en 2B zou kunnen krijgen. Grafiek A toont een half glas kraanwater waaraan eerst heet water werd toegevoegd en ten slotte wat koud. In grafiek B werd verhoudingsgewijs meer heet water toegevoegd, maar dat werd Rina uiteraard niet verteld. Zij moest haar eigen uitleg geven. Ze zegt: *In A had u eerst de koudwaterkraan aan en toen draaide u de warmwaterkraan open. In B draaide u de warmwaterkraan open en draaide u tegelijk de koudwaterkraan dicht.* Hiermee verklaart ze perfect de temperatuurstijging en het verschil tussen grafieken 2A en 2B. In de activiteit had ze diverse temperaturen gemeten, maar niet verwarmings- of afkoelingsverschijnselen.

Ook kinderen denken dus heen-en-weer tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen en dat doen ze van nature, net als alle volwassenen. Dat dit ook voor techniek grote voordelen kan hebben laat het volgende voorbeeld zien.

De kreukelzone van een ei

De zogenaamde ‘egg drop’ is populair als ontwerpactiviteit bij techniek en er worden zelfs competities georganiseerd. Het doel van de activiteit is een beschermingsconstructie te ontwerpen waardoor een ongekookt ei een val van een aantal meters ongebroken kan overleven. Je ziet kinderen maar ook leerkrachten in nascholing



dan allerlei constructies maken. Dat gaat met *trial and error*. Dat mag best als start in een aanrommelfase. Maar de activiteit wordt een stuk interessanter en productiever wanneer we de begrippen kracht en remweg introduceren. Bij een korte remweg (ei valt op stenen) is er een grote kracht. Bij een grotere remweg (ei valt op dik schuimrubber) is er een kleinere kracht. Het is de kracht die het ei breekt. Om het ei heel te houden, moeten we de kracht verkleinen door de remweg te verlengen. Dat kan door constructies met elastiek, watten, geribbeld karton, etc. We moeten de kracht spreiden over het ei, dus zorgen dat de remkracht over een breed oppervlak werkt. Je kunt deze kennis ook toepassen op auto's (kreukelzone, veiligheidsgordel) en op sport. De veiligheidsgordel spreidt de kracht en verlengt de remweg voor het lichaam als de auto tegen een muur opknalt. Ook de kreukelzone van de auto verlengt de remweg voor de inzittenden. Als je hand een beetje meebeweegt bij het vangen van een basketbal wordt de kans op gekneusde vingers veel kleiner. Bij het afstoppen van de bal bewegen voetballers hun been vaak een beetje mee met de richting van de bal, anders springt de bal meteen weer van de voet. De begrippen remweg en spreiding van kracht leiden dus niet alleen tot veel meer begrip en focus bij de egg drop, maar hebben een wijde toepassing in verpakkingen, verkeer, sport, en andere verschijnselen in het dagelijks leven.

Als je na wat *trial and error* in een aanrommelfase de kinderen begrippen aanreikt waardoor ze bij techniek zichtbaar betere resultaten halen en op de koop

toe nog allerlei andere verschijnselen kunnen verklaren... dan pas wordt het echte W&T in de klas. Kinderen kunnen heen-en-weer denken tussen de twee werelden, en onderwijsactiviteiten hebben een veel grotere en blijvende opbrengst als dit ook inderdaad effectief en onder goede leiding gebeurt. Dat vereist conceptuele basiskennis van de leerkracht.

4. Problemen tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen

De interactie tussen hoofdwerk en experiment is niet probleemloos, vandaar het muurtje in figuur 1. Er zijn talloze voorbeelden in de geschiedenis van de wetenschap waarin (achteraf onhandige) theorieën leidden tot zinloze experimenten en in de techniek tot onhandige producten. Denk aan de alchemisten en hun queeste van eeuwenlang mengen, vermalen en koken van allerlei stoffen om goud te verkrijgen. Ze gingen daarbij uit van de theorie van de vier elementen aarde, water, lucht, en vuur en de rol van kwik en zwavel. Helemaal zinloos was het niet. Hooykaas (1971) toonde aan dat de experimenten toch praktische scheikundekennis genereerden, maar in wetenschap en techniek waren de theorieën van de alchemie een doodlopend spoor.

In de geschiedenis van de wetenschap vindt men veel theorieën en begrippen die tegenwoordig als misconcepten gezien worden (Thijs & Berg, 1995). De Italiaanse Academie maakte in de 17de eeuw geen onderscheid tussen warmte (energie) en temperatuur (Wiser & Carey, 1983) en dat beperkte hun experimenten en interpretaties. Het onderscheid tussen kracht en impuls werd pas echt duidelijk bij Newton in zijn *Principia* (1688) maar is nog steeds een probleem bij natuurkundeleerlingen. Alsof mensen geboren worden met Aristoteliaanse ideeën, of alsof dergelijke ideeën automatisch gevormd worden in een interactie van hersens en vroege zintuiglijke ervaringen (Thijs & Berg, 1995). Overigens moet men natuurlijk voorzichtig zijn met het projecteren van onze huidige begrippen op wetenschappers in de geschiedenis.

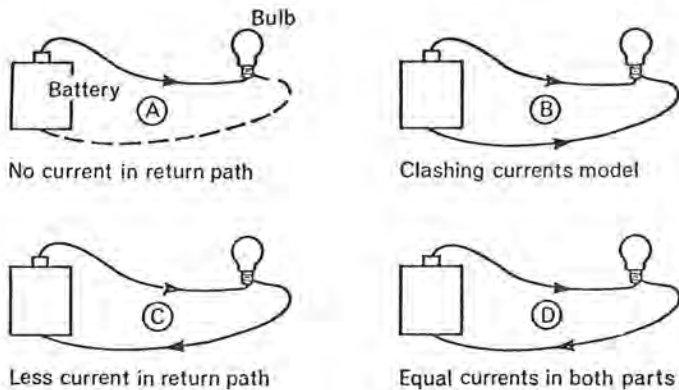
In de Wereld van Ideeën formuleren wetenschappers voorspellingen die vervolgens in de Wereld van Dingen worden getoetst via waarneming en experiment. Chinn en Brewer (1993, 1998) hebben de interacties tussen theorie en experiment nog wat uitgediept. Zij classificeerden zeven mogelijke reacties van wetenschappers op nieuwe informatie (bijvoorbeeld uit experimenten) die niet overeenkomt met theoretische voorspellingen. Slechts één van die reacties is verwerping of aanpassing van de theorie (accommodatie). Andere reacties variëren van het verwerpen van experimentele resultaten tot het parkeren van resultaten als anomalie (een vorm van assimilatie). Vervolgens analyseerden

Chinn en Brewer reacties van kinderen op nieuwe informatie en zij kwamen tot de conclusie dat kinderen op soortgelijke manieren nieuwe informatie proberen in te passen in hun eigen unieke ‘theoretische’ kaders. Assimilatie is het dominante mechanisme. De traagheid (inertie) van bestaande theorie is groot; misschien wel gezond voor onze mentale gesteldheid en voor robuuste theorieën, maar nadelig voor leerprocessen die forse accommodatie vereisen.

De Australiër Gauld (1985, 1986) interviewde 14-jarige leerlingen over stroomsterkte in elektrische schakelingen drie maanden na een lessenserie. In de lessen hadden leerlingen hun modellen over elektrische stroom expliciet gemaakt (figuur 3) en daar waren voorspellingen uit afgeleid. Ze hadden experimenten gedaan waarin ze stroom vóór en na de lamp maten, met als duidelijk resultaat dat die twee stromen gelijk waren. De uitleg is dat elektronen energie vervoeren maar zelf niet verbruikt worden. In het interview drie maanden later gaven veel leerlingen hun oorspronkelijke, foute voorspellingen met aangepaste meetresultaten als bewijs! Ze voorspelden dat de stromen ongelijk zouden zijn en verwezen daarbij naar resultaten van experimenten die ze gedaan hadden. Die resultaten waren dus aangepast in hun geheugen. Gauld (1986, p. 52) schrijft:

‘In many cases consistency existed because “memories” were apparently reconstructed from implications of the adopted model. This conclusion is reinforced by the fact that most pupils believed that the large majority of other pupils had adopted the same model they had (which was not the case).’

Evenals in de wetenschap is een enkel experiment niet doorslaggevend en moet er een voor leerlingen acceptabele theorie of alternatief model voorhanden zijn. Dat kan vaak heel visueel in de vorm van een analogie. Men gebruikt vaak *carrier*-analogieën zoals elektronen als treinwagons of vrachtwagens die energie transporteren. Ik heb daar zelf redelijk succes mee gehad (Berg & Grosheide, 1997) om leerlingen van model C in figuur 3 naar model D te brengen. Maar de analogie moet goed doordacht zijn en er moet behoorlijk geoefend worden in heen-en-weer denken tussen analogie en verschijnselen. En dan heeft elke analogie natuurlijk zijn beperkingen. Zie bijvoorbeeld Sefton (2002) die de vloer aanveegt met *carrier*-analogieën.



Figuur 3: Modellen van kinderen voor elektrische stroom in een schakeling (Osborne, 1983)

Osborne (1983) gebruikte de bloedsomloop als analogie voor elektrische stroom in een schakeling. Hij bestudeerde de ideeën daarover van kinderen van 8-12 jaar oud die nog nooit formeel onderwijs hadden gehad over elektriciteit. Toch hadden ze al tamelijk uitgesproken ideeën over de werking van schakelingen, en Osborne identificeerde vier modellen (figuur 3). In model A wordt één connectie met de batterij voldoende geacht. Model B vereist twee connecties en er zijn twee tegengestelde stromen die elkaar in het lampje tegenkomen en in de botsing licht produceren. In model C is er een stroom van + naar - via het lampje, maar is de stroom *naar* de lamp groter dan *uit* de lamp, want er wordt toch energie opgenomen? In model D, het wetenschappelijke model, zijn die stromen gelijk. In modellen A t/m C wordt stroom gezien als een stroom van energie die wordt verbruikt of omgezet in de lamp. Pas in D wordt onderscheid gemaakt tussen energie en de elektronen. De elektronen spelen een rol in het energietransport maar worden zelf niet 'verbruikt'. Dezelfde modellen vindt men terug bij kinderen, tieners en volwassenen. Kinderen en volwassenen interpreteren hun ervaringen door middel van zulke preconcepten. Op de een of andere manier zijn deze preconcepten gevormd en ze vormen hoe dan ook het startkapitaal voor ons onderwijs. Dáár moet de benodigde conceptuele ontwikkeling starten, maar lastig is het wel.

Begripsvorming

In 1990 onderzocht mijn collega Nggandi Katu (1992) begripsvorming over elektrische schakelingen bij 16-jarigen in Indonesië. Terwijl ik dit schrijf komen de hanengeluiden van toen weer boven: het interviewlokaal lag aan de rand van de kampung. Budi (pseudoniem) had in eerdere interviews steeds het consumptiemodel (model C) gebruikt. Ineens vertelde hij ons toen over protonen die van + naar – gaan en elektronen die van – naar + gaan. Een oud model (B) werd uit het geheugen opgevist en kreeg nieuwe betekenis door positieve en negatieve ladingdragers erop te projecteren: juxtapositie. Voor een fysicus een schitterend voorbeeld van interferentie van voorkennis met nieuwe informatie. Die nieuwe informatie krijgt betekenis vanuit de voorkennis, wordt geïnterpreteerd door die voorkennis: in metalen verzorgen de elektronen het elektrisch transport. (In vloeistoffen kun je overigens wel spreken van *clashing currents* van positieve en negatieve ionen.)

Kortom, in de psychologische verwerking van anomalieën door kinderen én door wetenschappers hebben experimenten slechts beperkte bewijskracht (Chinn & Brewer 1993, 1998). Er zijn talloze andere onderwijsvoorbeelden op de kruising van misconcepten en experimenten waarin cognitieve dissonantie niet tot gewenste leerresultaten leidt.

Wat hebben we geleerd tot dusver? De kern van W&T is het heen-en-weer denken tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen. Kennis vloeit niet rechtstreeks uit ervaringen en experimenten naar het hoofd. Kennis is het product van ingewikkelde processen in ons brein waarbij ervaringen en experimenten in de Wereld van Dingen een rol kunnen spelen, maar deze ervaringen kunnen een correcte theorievorming niet garanderen. Waarnemingen en metingen worden vaak op onverwachte manieren geïnterpreteerd. Als leerkracht/docent moet je dus voortdurend de vinger aan de pols houden en volgen hoe kinderen/leerlingen begrippen gebruiken en interpreteren. Daar zijn praktische methoden voor, zoals we later zullen zien.

5. De vakdidactiek van experimenten

Een mythe in de wetenschap is dat experimenten onderscheid maken tussen ware en onware theorie. Dat is een veel te simpele voorstelling van zaken, zoals Chinn en Brewer en vele anderen hebben laten zien (Holton, 1973; Pais, 1982, hoofdstuk 6). Een mythe in het onderwijs is dat proefjes van leerlingen automatisch leiden tot het juiste begrip. Ook dat klopt niet. Maar mythen zijn hardnekkig en het geloof in experimenten is groot. Het idee dat ‘kennis zichzelf openbaart door zorgvuldige observatie en onderzoek’ is nog steeds wijdverspreid.

In 1978 kwamen de eerste *reviews* van alle studies waarin hands-on activiteiten met andere onderwijsmethoden werden vergeleken (Bates, 1978). Sindsdien is er een hele serie studies en *reviews* geweest die zelfs onder vakdidactici tamelijk onbekend zijn, maar wel heel consistente resultaten gaven (Hofstein & Lunetta, 1982, 2004; Lunetta et al, 2007; Berg & Giddings, 1992; Hodson, 1993; Dillon, 2008). De conclusies van deze *reviews* worden nog steeds bevestigd door nieuwe studies.

In een recente studie van 25 practica in 25 verschillende klassen in het middelbaar onderwijs in Engeland kwamen Abrahams en Millar (2008) tot de volgende conclusie:

‘The teacher’s focus in these lessons was predominantly on developing students’ substantive scientific knowledge, rather than on developing understanding of scientific enquiry procedures. Practical work was generally effective in getting students to do what is intended with physical objects, but much less effective in getting them to use the intended scientific ideas to guide their actions and reflect upon the data they collect.’

Niet geheel onverwacht ligt het probleem in de connectie tussen de Wereld van Dingen en de Wereld van Ideeën:

‘There was little evidence that the cognitive challenge of linking observables to ideas is recognized by those who design practical activities for science lessons.’

Inmiddels heeft Millar (2010) een prachtig boekje geschreven over het analyseren en evalueren van practica. De kernvraag is steeds of leerlingen de beoogde verschijnselen echt goed te zien krijgen (een voorwaarde) en of ze vervolgens observaties en metingen kunnen relateren aan begrippen en theorie. Daar moet begeleiding door de docent op gericht zijn.

Keys (1998) merkt op over de basisschool:

‘...children have difficulty making sense of the goals, purposes and motivation of investigations, while research emanating from the perspective of students’ authentic questions has shown that children lack the processing strategies to conduct meaningful investigations.’ (Keys, 1998, p. 303).

Dit geldt niet alleen voor activiteiten en practica in het primair en voortgezet onderwijs, maar ook in hoger onderwijs. In 1979 merkten Reif en St. John (1979, p. 950) al op over natuurkundepractica aan de beroemde Universiteit van Californië in Berkeley dat:

‘We found that most students cannot meaningfully summarize the important aspects of an experiment they have just completed. Usually they recall some of their manipulations in the laboratory, but are unable to articulate the central goals of the experiment, its underlying theory, or its basic methods. Thus despite several hours spent working with the laboratory apparatus, many students seem to learn from this experience little of lasting value.’

Het lukte Reif en St John overigens om met aanpassingen in opzet en begeleiding van het practicum veel betere resultaten te behalen, maar de initiële condities die ze aantroffen in Berkeley vindt men nog steeds in veel practica in middelbaar en hoger onderwijs wereldwijd.

Ik geef hier een korte samenvatting van problemen met practicum/activiteiten in de klas en verwijst naar Berg en Buning (1994) en Dillon (2008) voor details.

- Activiteiten worden vaak gekozen op grond van traditie en sluiten vaak onvoldoende aan op de typische begripsmoeilijkheden van kinderen.
- Activiteiten (in typische lesuitvoering) vinden vaak geheel plaats in de Wereld van Dingen zonder *start vanuit* en *terugkoppeling naar* de Wereld van Ideeën. Voor jonge kinderen mag die Wereld van Ideeën best beperkt zijn tot hun eigen verwachtingen en voorspellingen zonder boektheorie, maar heen-en-weer denken tussen theorie/verwachtingen en experiment is ook voor hen essentieel.
- Begeleidingsgedrag van de leerkracht/docent is onvoldoende gericht op koppeling tussen de twee werelden.
- Assessment en evaluatie zijn vaak gericht op juiste antwoorden (die al lang in boeken staan) in plaats van op vooruitgang in kinderdenken bij ideeën en onderzoeksvaardigheden.

6. Onderzoekend en ontwerpend leren

Sinds ruim vijftig jaar wordt onderzoekend leren of *inquiry learning* gepropageerd. Er zijn in de loop van de tijd aardig wat definities geweest (Barrow, 2006) die teruggaan tot Dewey (1910, 1916), maar de basis is dat leerlingen op de een of andere manier ervaring opdoen met het proces van kennisvorming en validatie dat beschreven is in figuur 1. Kinderen maken kennis met verschijnselen, stellen vragen. Sommige vragen kunnen beantwoord worden vanuit eigen ervaring, andere vragen kunnen leiden tot onderzoekjes. Er wordt geredeneerd, geobserveerd, gemeten, geconcludeerd en gerapporteerd, en er komen nieuwe vragen. Wanneer kinderen/leerlingen onderzoekend leren, zie je het gedrag dat beschreven wordt door Coe (2001) in figuur 4.

Students Raise Questions

1. They ask questions—verbally or through actions.
2. They use questions that lead them to investigations that generate or redefine further questions and ideas.
3. They value and enjoy asking questions as an important part of science.

Students Use Observations

4. They observe carefully, as opposed to just looking.
5. They see details, seek patterns, detect sequences and events; they notice changes, similarities, and differences.
6. They make connections to previously held ideas.

Students Plan and Carry Out Investigations

7. They design a fair test as a way to try out their ideas, not expecting to be told what to do.
8. They plan ways to verify, extend, or discard ideas.
9. They carry out investigations by handling materials with care, observing, measuring, and recording data.

Students Propose Explanations and Solutions and Build a Store of Concepts

10. They offer explanations both from a 'store' of previous experience and from knowledge gained as a result of ongoing investigation.
11. They use investigations to satisfy their own questions.
12. They sort out information and decide what is important (what does and doesn't work).

13. They are willing to revise explanations and consider new ideas as they gain knowledge (build understanding).

Students Critique Their Science Practices

14. They create and use quality indicators to assess their own work.
15. They report and celebrate their strengths and identify what they'd like to improve upon.
16. They reflect with adults and their peers.

Figuur 4: Onderzoekend leren (Coe, 2001)

Hands-on zijn kinderen bezig in de Wereld van Dingen, maar in figuur 4 speelt de Wereld van Ideeën ook een grote rol. Bijvoorbeeld bij punt 2, want hoe kun je vragen zonder ideeën? Bij punt 4, observeren, waar let je op en waarom? Voor het detecteren van overeenkomsten en verschillen bij punt 5 heb je begrippen nodig. Ideeën en begrippen spelen een rol bij punt 7 en 8 en natuurlijk bij punt 10-13.

Bij ontwerpended leren gaat het om het ontwerpen van oplossingen voor menselijke behoeften en problemen. Bij onderzoekend leren gaat het om kennis, bij ontwerpended leren om een product of oplossing voor een specifiek probleem. Graft en Kemmers (2007) schrijven:

‘De context waarbinnen bij ontwerpended leren wordt geleerd, verschilt aanzienlijk van de context bij onderzoekend leren en spreekt hoogstwaarschijnlijk andere leerlingen aan. Kinderen die wellicht niet uitgedaagd worden door een vraag naar een abstract begrip (waardoor drijft iets?), worden dat misschien wel door een vraag naar het ontwerpen van een concreet product (maak een boot die 40 knikkers kan dragen). Voor beide vragen zijn echter creativiteit, nieuwsgierigheid en kritisch vermogen nodig.’

Dit voorbeeld laat zien dat het soms mogelijk is kinderen vanuit heel verschillende invalshoeken te laten werken met dezelfde begrippen.

Als contrast met gewone *hands-on* activiteiten is het handig naar een schema te kijken van de National Science Education Standards van de VS (figuur 5). De nadruk ligt op activiteiten over een serie van lessen en op ‘science as argument and explanation’.

Minder nadruk op	Meer nadruk op
Kennen van feiten en informatie	Begrijpen van begrippen en ontwikkelen van onderzoekscapaciteiten
Scheiden van kennis en proces	Integreren van alle aspecten van wetenschappelijke inhoud
Behandelen van veel onderwerpen	Studie van beperkt aantal fundamentele begrippen
Activiteiten die W&T-inhoud demonstreren en verifiëren	Activiteiten die W&T-vragen onderzoeken en analyseren
Onderzoek dat is beperkt tot één les	Onderzoek over een langere periode
Een antwoord vinden	Gebruik van bewijsmateriaal en strategieën om een verklaring te ontwikkelen of te verbeteren
Natuurwetenschap als verkenning en experiment	Natuurwetenschap als argument en verklaring
Privécommunicatie met de docent over leerlingideeën en conclusies	Publieke communicatie met klasgenoten over leerlingideeën en werk

Figuur 5: Verandering naar onderzoekend leren (uit NSES, 1996, p. 113)

Kunnen kinderen dat of kunnen ze dat leren? Ergens tussen de leeftijd van 3 en 5 jaar leren kinderen dat uitspraken expressies zijn van meningen en dat die geverifieerd of gefalsifieerd kunnen worden (Kuhn, 1997). Het begrijpen van uitspraken of informatie als verifieerbaar en als potentieel falsifieerbaar met bewijsmateriaal maakt het kinderen mogelijk simpele wetenschap te praktiseren. Dat wil niet zeggen dat er geen beperkingen zijn. Zowel kinderen als pubers en volwassenen hebben grote problemen met het coördineren van theorie en bewijsmateriaal en met het metastrategisch en metacognitief denken dat daarvoor nodig is (Kuhn, 1997). Kinderen hebben ook grote moeite met aspecten van onderzoek zoals het werken met variabelen. Op grond van een aantal studies en eigen ervaring concludeert Keys (1998, p. 303):

‘Some recent classroom studies of experimental design in children aged 11-13 indicated that most 11 year olds were able to design clear experiments when given only one independent and one dependent variable, but had difficulty with cognitive tasks such as manipulating two independent variables, conceptualising data as continuous, quantifying data, graphing, and evaluating the validity of data.’

Gezien onze ervaringen in het werken met sensoren denken we op het AM-STEEL Instituut dat het maken en interpreteren van grafieken geen probleem is, zoals we in hoofdstuk 9 nog zien. Maar er zijn wel andere problemen. Nog eens Keys (1998, p. 303):

‘Childrens failure “to keep the whole task in mind” including their lack of understanding about the purpose and ultimate goal of data collection may be a barrier to rigorous experimental design and analysis. Thus there is substantial evidence that children do have difficulty mentally processing the investigation problems put to them by adults, even when they appear to be actively engaged in these investigations.’

Sommigen zullen direct reageren met *put to them by adults?* Voor onderzoekend leren moet je authentieke vragen van kinderen gebruiken. Niettemin zijn er cognitieve barrières in het leren onderzoeken door kinderen. In Engeland heeft men al veel langer ervaring met onderzoekend leren als doel in het curriculum. Men acht dit haalbaar. De onlangs ingevoerde nieuwe assessmentmethoden voor onderzoeken en ontwerpen, zullen binnenkort duidelijk maken welke leerdoelen met betrekking tot onderzoek en ontwerp haalbaar zijn en op welke leeftijd (APP, 2010a en 2010b).

Onderzoekend en ontwerpend leren: doel of middel?

Wereldwijd wordt al ruim veertig jaar gepleit voor *inquiry based science teaching*, meestal vertaald met onderzoekend en ontwerpend leren (OOL). Dat onderzoekend leren kan gezien worden als *middel* om kennis en vaardigheden op te doen: *onderzoekend en /ontwerpend leren*, maar ook als *doel*: *leren onderzoeken en ontwerpen* en leren redeneren met bewijsmateriaal, en daarmee leren hoe de natuurwetenschap te werk gaat (Graft & Kemmers, 2007). Als *middel* kan OOL tot grote motivatie leiden maar ook tot frustratie. Het kan kinderen *eigen* kennis opleveren en nieuwe perspectieven, maar stelt hoge eisen aan begeleiding en *scaffolding*. Kennis kan voor kinderen verborgen blijven in de natuurlijke chaos en ruis van experimenten en activiteiten. Dat is zelfs eerder regel dan uitzondering (Osborne & Freyberg, 1985; Abrahams & Millar, 2008)

en wordt onvoldoende herkend en erkend door de propagandisten voor *inquiry*. Van Keulen (2009) schrijft daarover:

‘Het proces van zelf onderzoek doen is een uitermate tijdrovende en inefficiënte manier om aan kennis te komen. Maar elementen van “doing science”, mits goed gekozen, helpen om feiten en resultaten in het juiste perspectief te plaatsen. Een onderzoekende en ontwerpende didactiek is in dit kader essentieel, omdat alleen zo de eigen aard van door W&T ontwikkelde kennis recht gedaan wordt.’

Voor overdracht van W&T-inhoud zijn veel middelen beschikbaar en OOL is er een van. De meerwaarde van OOL ligt in een beter begrip van de aard van W&T-kennis en -methoden en in motivatie wanneer kinderen eigen vragen onderzoeken. OOL moet niet als enig zaligmakende methode voor W&T-kennisoverdracht gezien worden, maar als een van de vele methoden die slim gekozen moeten worden, afhankelijk van de leerdoelen. Wel is het een unieke methode, die een grote rol speelt in het leren redeneren met bewijsmateriaal en het kennismaken met de aard van natuurwetenschap en technologie. We zien het belang van OOL terug in recente beleidsdocumenten in de VS (NSES, 1996; NRC, 2007), Europa (Rocard et al, 2007), UK (QCA, 1999, 2009), en in grote projecten in veel landen, inclusief *science education* onderzoeksprogramma’s van de EU die als hoofddoel hebben de verspreiding van *inquiry based science teaching* in W&T. *Inquiry science* levert niet per definitie superieure kwaliteit kennis op vergeleken met meer traditionele methoden. In kleinschalige laboratoriumsituaties kan er indrukwekkende implementatie van onderzoekend leren zijn. Op grotere schaal is implementatie een stuk moeilijker en kunnen kennisdoelen daar onder lijden (Kaya & Rice, 2010; Minner et al, 2010).

Samengevat: als het om kennisoverdracht gaat, zijn er veel lesmethoden naast OOL en is het vooral zaak om slim te kiezen en te variëren. Ik verschil daarin van mening met bijvoorbeeld NSES (1996) en Rocard et al (2007). Maar als het gaat om kennismaking met natuurwetenschappelijke methoden, om kennis te toetsen en te redeneren met bewijsmateriaal, dan is OOL de belangrijkste methode.

In de *inquiry business* zijn er in het verleden veel voorstanders geweest van programma’s die onderzoeksvaardigheden propageren (*process skills*). Het kunnen onderzoeken wordt dan gezien als het beheersen van een aantal vaardigheden, zoals observeren en meten, metingen in een tabel of grafiek verwerken, conclusies trekken en netjes opschrijven. Terugkijkend naar figuur 1 zal duidelijk zijn dat kennis centraal staat in onderzoek, en dat activiteiten in de Wereld van Dingen door kennis gestuurd worden. Begrip en vaardigheden zijn

sterk verweven (Millar & Driver, 1988). Mét kennis kan men veel productievraagstukken stellen dan zonder. Mét kennis kan men resultaten van onderzoek veel beter interpreteren, ook al zit de kennis (denk aan misconcepties) wel eens in de weg.

Het Engelse *Science and Technology* curriculum (QCA, 1999, 2009) kent mooie definities van beoogde kennis en vaardigheden rond onderzoek en juist ook voor de basisschool voor *Key Stage 1* (leeftijd 7 jaar) en *Key Stage 2* (leeftijd 11 jaar). Sinds kort is dit gekoppeld aan een nieuw systeem van assessment waarbij kennis en vaardigheden met betrekking tot onderzoek worden geëvalueerd met behulp van informatie die tijdens de lessen kan worden verzameld, bijvoorbeeld door observatie, een gesprekje, vragen/antwoorden van kinderen, presentaties over onderzoekjes, en andere ‘producten’. Er zijn vijf dimensies gedefinieerd en binnen elke dimensie worden acht niveaus aangegeven om prestaties van kinderen te beschrijven (APP, 2010a). Uiteindelijk hoopt men dat op 14-jarige leeftijd de meeste kinderen niveau 5 of 6 (van 8) halen. Een uitgebreide serie voorbeelden uit de klas, inclusief video, staat sinds kort op de APP website (APP, 2010b). Het geheel is uitgebreid uitgetoet in de klas. Leerkrachten uit de pilotstudie zijn enthousiast (ASE, 2010). Zij vinden het zeer werkbaar en vinden ook dat de tabel erg helpt in het begeleiden en sturen van onderzoekend leren van kinderen. Een andere reden voor het enthousiasme kan zijn dat *science-begrippen* niet langer duidelijk in het assessment zitten, het zijn vooral *vaardigheden* die beoordeeld worden. Dat kan veel druk wegnemen, maar ook verarming zijn. Dit is de waarschijnlijk best geoperationaliseerde bruikbare beschrijving van onderzoekend leren in W&T in de klas. Alle kinderen worden geëvalueerd, maar de inspectie vereist per klas documentatie van zes kinderen. Daarmee toont de leerkracht aan dat hij/zij het assessmentsysteem begrijpt en goed kan toepassen, en wordt de verplichting om voor elk kind een portfolio aan te leggen vermeden. Het assessmentsysteem kan begeleiding door de leerkracht veel gericht en doelmatiger maken.

7. Leren begeleiden van W&T-activiteiten

Men zegt vaak dat kinderen van nature onderzoekers zijn. Dat klopt niet met ervaringen. We (Eijck et al, 2010) zien wel dat kinderen heel actief zijn in *hands-on* activiteiten. Maar we zien ook dat kinderen soms eindeloos blijven ‘hangen’ in een activiteit. Twee kinderen uit groep 3 rolden bijvoorbeeld cilinders van papier, plaatsten deze verticaal op tafel en toetsten de sterkte door er boeken op te stapelen. Ze bleven de activiteit eindeloos herhalen zonder systematische variatie van diameter van de cilinder of andere variabelen. In een

groep 7 die een half jaar lang gevolgd en gefilmd werd door collega Edith Louman, bleek dat kinderen weinig vragen stelden en snel tevreden waren met hun eigen oppervlakkige antwoorden. Hoe verander je dat?

Het probleem ligt niet alleen bij de kinderen. Geconfronteerd met video's van de eigen interacties met leerlingen, ontdekte de overigens zeer competente leerkracht een aantal problemen in de interactie. De mentor kon assisteren bij het veranderen van het vragenstellend gedrag. Harlen en Qualter (2004) onderscheiden bijvoorbeeld persoongerichte versus onderwerpgerichte vragen:

Onderwerpgericht: Waarom hebben zware vrachtwagens een langere remweg dan lichte?

Persoongericht: Waarom *denk jij* dat zware vrachtwagens een langere remweg hebben dan lichte?

De onderwerpgerichte vraag vraagt naar het 'juiste' antwoord, en dat kan intimideren. De persoongerichte vraag vraagt naar een persoonlijke mening die gegeven kan worden. Wanneer het doel is om kinderen redeneringen en achterliggende ideeën te laten verkennen of hun denken te stimuleren, dan zijn persoongerichte vragen essentieel. Onderzoeker Edith Louman is hiermee bezig in haar casestudies waarin ze een klein aantal leerkrachten intensief begeleidt, en zij observeert en filmt veranderingen in leerlinggedrag. In de begeleiding besteedt ze aandacht aan vraaggedrag van leerkrachten en aan gebruik van technieken om voorkennis en ervaring van kinderen boven tafel te halen en te waarderen. Dat leidde tot zeer interessante stukjes film. In een eerste groep 3-les over het ontkiemen van zaadjes (zie ook eerder voorbeeld van Stijn) schreven kinderen eerst individueel op wat ze dachten dat zaadjes nodig hadden, vervolgens keken ze naar wat hun buurman of buurvrouw had bedacht. Daaruit formuleerden ze hun gezamenlijke idee. Een uitgebreide discussie volgde. Bert kwam met een indrukwekkende theorie over droge en natte aarde die nodig was, en ruimte voor de wortels om te drinken, en dat het water ook door tunneltjes weg kon lopen. Jammer genoeg zat hij te ver van de cameramicrofoon om alle details op te vangen. Maar het theoretisch denken was begonnen in deze groep 3(!)-klas.

Oliveira (2010) gaat dieper in op sociale aspecten van taal en hoe die gebruikt wordt om gezamenlijkheid te creëren ('Wat voor invloed denken we – kind en leerkracht – dat de luchtdruk heeft op ...?') of juist een autoritaire reactie ('Wij – de leerkrachten – willen dat jullie – de kinderen – uitzoeken wat voor invloed luchtdruk heeft op ...'). Oliveira bestudeerde onder meer *hedging* in de taal: het gebruiken van allerlei typische mechanismen om uitspraken af te zwakken of vager te maken en daardoor ook meer ruimte te creëren voor de

ander en voor discussie. Dat *hedging* is handig in het leerproces om discussies op gang te krijgen met optimale participatie, maar aan het eind van het leerproces moet men natuurlijk wel duidelijke resultaten formuleren en *hedging* voor zover mogelijk vermijden. Dit klinkt misschien als vakdidactiek op de vierkante millimeter, maar de bekende *wait-time* studies van Mary Budd Rowe (1974) lieten al zien dat subtiele veranderingen in vragen stellen grote veranderingen in de kwaliteit van antwoorden kunnen geven.

Onderzoekend gedrag moet dus gecultiveerd of geleerd worden door gerichte begeleiding. Wat voor tools zijn daarvoor beschikbaar?



Figuur 6: Concept cartoon

Een laagdrempelige en in Engeland zeer succesvolle benadering is die met concept cartoons. Een cartoon zoals in figuur 6 vormt een startpunt voor discussie en kan leiden tot onderzoek door kinderen. Naylor et al (2007) observeerden 38 lessen in 2 groep 2 & 3-klassen (leeftijd 7-9) op 2 verschillende scholen. In de eerste vier lessen zonder interventie werd 2% van de tijd besteed aan discussie in kleine groepjes. Dat percentage steeg tot 26% bij de introductie van concept cartoons, en dat zonder significante interventie of richting geven door de leerkracht. De discussies werden geanalyseerd volgens diverse argumentatieschema's (waar we hier niet verder op ingaan). In 32 van de 38 lesobservaties gebruikten kinderen argumenten en bewijsmateriaal om hun ideeën te ondersteunen en reageerden ze ook op ideeën van andere kinderen. Deze lessen waren nog beperkt tot discussie, maar de stap naar experimenten bedenken is niet groot.

Naylor en Keogh hebben ook andere laagdrempelige manieren bedacht om kinderen aan het redeneren te krijgen over W&T. Hun poppenmethode (Simon et al, 2008) werkt wonderwel op de basisschool. De juf of meester brengt poppen in de klas die net als in de cartoons uitspraken doen over W&T, en kinderen kunnen spontaan met hen in debat gaan. Daarbij komen argumenten voor verschillende standpunten op tafel zonder dat er meteen een label waar of onwaar opgeplakt moet worden. Natuurlijk hoop je wel op een convergentie van de discussie naar een beter antwoord, en dan is toch de begripskennis van de leerkracht weer cruciaal.

Een veel fundamenteelere benadering om structureel en langdurig aan ontwikkeling van een onderzoekende houding te werken en tegelijkertijd aan taal en aan redeneren met *evidence* is de logboekmethode van Klentschy (2008). Kinderen documenteren hun W&T-activiteiten in een logboek. De nadruk ligt daarbij op *claims-evidence-conclusions*: ik denk dat, of ik verwacht dat... ik zie dat, of ik meet dat... ik concludeer dat... . De kern van het logboek is dus niet het opschrijven van waarnemingen en metingen, maar juist het documenteren van redeneren met bewijsmateriaal, en dat is dus weer dat heen-en-weer springen tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen. In de woorden van Klentschy en Molina (2004):

‘The student science notebook then becomes more than a record of data that students collect, facts they learn, and procedures they conduct. The science notebook also becomes a record of students’ reflections, questions, speculations, decisions and conclusions all focused on the science phenomena. As such, a science notebook becomes a central place where language, data, and experience operate jointly to form meaning for the student. Students written ideas provide a window into their thinking process.’

Het logboek blijkt een middel te zijn om de taal- en redeneervaardigheid van kinderen sterk te verbeteren. In de veertien jaar sinds de toepassing van deze methode in het hele schooldistrict, het armste in Californië, bleken alle onderwijsindicatoren sterk toegenomen te zijn, van resultaten op taaltoetsen tot het percentage leerlingen dat uiteindelijk tot hoger onderwijs wordt toegelaten.

Het Franse programma La Main à la Pâte gebruikt de logboekmethode voor de leeftijd 4-12. De jongste kinderen maken tekeningen. Soms schrijft de juf er enkele woorden bij. In groep 3 begint het echte schrijven. In het begin wordt vaak een voorgeprogrammeerd format gebruikt (figuur 7). Later wordt dat

steeds meer open. Het logboekgebruik structureert en documenteert een leerlijn onderzoek (Campbell & Fulton, 2003).

Mijn vraag	(vraag)
Vandaag willen we uitvinden.....	(probleem)
Ik denk dat zal gebeuren want.....	(voorspelling)
Ik zag dat	(observatie)
Vandaag leerde ik	(conclusie)
Ik vraag me af	(volgende stap)

Figuur 7: Voorgeprogrammeerd format van logboekwerkblad

Zowel de observatie methoden van APP (2010a, 2010b) als de logboek methode van Klentschy (2008) geven handen en voeten aan de formatieve evaluatie die zo belangrijk is om effectief en minds-on leren te krijgen (Black & William, 1998; Bell & Cowie, 2001).

8. Nascholing en professionalisering

Inquiry learning wordt in de VS al vijftig jaar met veel middelen en projecten gepromoveerd. Toch beginnen veel artikelen over introductie van *inquiry learning* in leraarsopleidingen met ‘as students are unlikely to have experienced inquiry learning in elementary, secondary school or university’. Wat weten we over het professionaliseringstraject van leerkrachten op weg naar zinvolle W&T-activiteiten in de klas?

Wereldwijd wordt gerapporteerd dat leraren in het basisonderwijs een zeer zwakke W&T-achtergrond hebben en dat dit leidt tot een laag zelfvertrouwen in het lesgeven in W&T. Leerkrachten kunnen dit uiten door het vermijden van W&T-lessen in hun klas, of door zich te beperken tot biologie, door het oefenen van onderzoeksvaardigheden (*process skills*) zonder aandacht voor begripsuitkomsten (onzinnig maar het gebeurt), of door een typische leer/leesboekbenadering te gebruiken (Harlen, 1997). Dezelfde strategieën zie je in Nederland (Graft, 2003) en dat is heel begrijpelijk. Bijna de helft van de paboinstroom komt van de havo en deze studenten hadden W&T in hun pakket tot en met 15-jarige leeftijd. De andere helft komt van het mbo en meestal van richtingen waarbij het W&T-niveau minder is dan havo-3. Van Graft (2003) schat het aantal studielasturen op de pabo voor het vak en voor vakdidactiek W&T (inclusief natuur- en milieueducatie) op tweehonderd bij een vierjarig programma dat in theorie zesduizend (4x1500) studielasturen omvat. Van de

Noord-Hollandse pabo's zit de Hogeschool van Amsterdam daar in theorie iets boven, maar de andere pabo's zitten eronder. Navraag bij 2 gerenommeerde pabo's in Nederland liet zien dat het aantal contacturen op de pabo in leerjaren 1 & 2 voor W&T in 30 jaar dramatisch gedaald is van boven de 100 tot 25 à 35 uur. Men had vroeger bijvoorbeeld twee jaar lang twee uur natuurkunde en twee uur biologie op het rooster staan.

Harlen (1997) deed een uitgebreide studie naar achtergrond en zelfvertrouwen van 514 praktiserende Schotse leerkrachten. Van tien leergebieden die werden vergeleken, kwamen *Science*, *ICT*, en *Technology* op de achtste tot tiende plaats in termen van zelfvertrouwen om in het vakgebied les te geven. Een kleinere groep (N=34) werd geïnterviewd over de basisbegrippen van enkele W&T-onderwerpen zoals spiegels, water en koolstofdioxide. Leerkrachten die tot 15- of 16-jarige leeftijd lessen in natuurwetenschap hadden gevolgd, hadden duidelijk meer begrip van basisbegrippen dan leerkrachten die al jonger met natuurwetenschap gestopt waren.

In Nederland draait sinds 2008 het VTB Pro-traject waarin vijfduizend leerkrachten cursussen volgen over W&T-onderwijs en de didactiek van onderzoekend en ontwerpend leren. In Amsterdam bestaat de cursus uit zeven woensdagmiddagen training plus enkele bezoeken van een coach/trainer aan school en klas. Eijck et al (2010) deden evaluatieonderzoek waaronder achttien observaties in de klas gedurende de tweede helft van de training. Bezoeken waren van tevoren aangekondigd. Lessen werden gefilmd en observaties werden vastgelegd volgens een aantal sleutelvragen. In alle lessen waren de kinderen betrokken en enthousiast bezig met hun activiteiten. Het *hands-on* deel ging uitstekend. De achttien lessen bestonden alle uit eenmalige activiteiten zonder connecties met lessen ervoor of erna. Techniek was beperkt tot constructies, dus niet transport, communicatie of productie. Techniek was ook volkomen gescheiden van Wetenschap, terwijl de link met Wetenschap juist zeer verhelderend kan werken (zie het eerdere ei-voorbeeld). Vijftien van de achttien lessen hadden wel een plenaire introductie, maar geen plenaire nabespreking, dus geen duidelijk einde over 'Wat hebben we geleerd vandaag?'. De leerwinst werd niet verzilverd. Gezien vanuit de vijf (Vaan & Marell, 2006) of zeven stappen (Graft & Kemmers, 2007) van onderzoekend en ontwerpend leren zagen we het volgende:

- Ervaren/verkennen (zonder onderzoeksvragen): in 16 van de 18 lessen
- Formuleren van onderzoeksvragen: 1x
- Voorspellen van uitkomsten: 5x
- Uitvoeren van een experiment met verschillende stappen van een onderzoekend leren-cyclus: 4x

- Conclusies formuleren, uitkomsten verklaren: 3x
- Ontwerpen (techniek): 2x
- Toetsen van ontwerp: 2x

Kortom, geslaagde *hands-on* met enthousiaste kinderen, maar nog niet echt onderzoekend of ontwerpend leren en zeer beperkte of geen manipulatie van ideeën.

Als we dit beoordelen vanuit het doel om een sterke *minds-on* en *reasoning with evidence* component te bereiken in W&T-onderwijs, dan zijn bovenstaande resultaten teleurstellend. Maar in deze beginfase van een implementatietraject van W&T is dit heel normaal, gezien de grote moeite die het overall in de wereld kost om *minds-on science* en vooral onderzoekend leren te implementeren. Appleton (2003) beschrijft wat beginnende leerkrachten doen met *science*-lessen, en dat is het vermijden van *science*, of het toepassen in *science* van lesmethoden van vakken als aardrijkskunde en geschiedenis – en dat is dan voornamelijk lezen en verslagjes schrijven. Dit kon bij beginnende leerkrachten worden doorbroken door *activities that work*, activiteiten die het goed doen bij kinderen en die qua orde controleerbaar zijn. Appleton pleit voor *units that work*: kleine series van succesvolle lessen, opdat er een leerlijn komt met duidelijker leerdoelen en opbrengst in plaats van eenmalige activiteiten.

Appleton (2008) publiceerde ook een mentoringstudie van twee leerkrachten als representatief voorbeeld voor mentoring uitgevoerd bij een grotere groep. Beiden hadden nascholingen gevolgd, maar pas in het mentoringtraject kwamen er veranderingen in hun lessen, en na één schooljaar waren ze met regelmatige begeleiding zover dat ze bij gekozen onderwerpen zelf de experts durfden aanspreken voor achtergrondinformatie en dat ze onderzoekend leren-methoden toepasten in hun lessen.

Hoeveel nascholing of *professional development* is nodig om werkelijk veranderingen te zien in de richting van onderzoekend en ontwerpend leren? Supovitz en Turner (2000) onderzochten 24 projecten van het Local Systemic Change initiatief van de National Science Foundation in de VS. De projecten waren gericht op complete schooldistricten en kinderen in de leeftijd van 4-14. Minimaal 80% van de leerkrachten per schooldistrict moest participeren. Deze projecten voldeden aan een aantal stringente kwaliteitscriteria met betrekking tot doelstellingen, nascholing/begeleiding en een systeemgerichte benadering, waarbij alle componenten en niveaus van een onderwijssysteem (schooldistrict) werden aangepast aan de beoogde hervorming in de richting van onder-

zoekend leren. De uiteindelijke analyse was gebaseerd op vragenlijsten aan 3.436 leraren en 666 schooldirecteuren. Aangezien er binnen elk schooldistrict leerkrachten waren die net begonnen met het nascholingstraject, en leerkrachten die al bijna klaar waren, was er een unieke gelegenheid om de invloed van intensiteit en duur van nascholing/begeleiding op de lespraktijk te onderzoeken. Het resultaat:

‘Dramatic results emerged when the experiences were deeper and more sustained. Both teaching practices and classroom cultures were affected most deeply after intensive and sustained staff development activities. In these analyses, it was only the teachers with more than two weeks of professional development who reported teaching practices and classroom cultures above average. Further, it appears that it was somewhat more difficult to change classroom culture than teaching practices; the big change in teaching practice came after 80 hours of professional development, while the big change in investigative culture came only after 160 hours.’ (Supovitz & Turner, 2000, p. 975)

De studie laat zien dat lespraktijken kunnen veranderen onder invloed van nascholing en begeleiding, maar dat er minimaal een nascholingstraject van tachtig uur nodig is. Zoals gezegd, zijn deze gegevens gestoeld op zelfrapportage van leerkrachten. Directe lesobservatie zou mooier zijn geweest, maar onmogelijk gezien de aantallen en geografische spreiding. In overeenstemming met deze resultaten laten veel andere studies (Joyce & Showers, 1988, 1996) geen significante verschillen tussen nageschoolde en niet-nageschoolde leerkrachten zien, want meestal is de nascholing veel minder dan tachtig uur en ontbreekt mentoring.

De Hogeschool van Amsterdam (met NEMO, Artis en AMSTEL) is betrokken bij een nascholingstraject van 350 leerkrachten. Dat vindt plaats tijdens zeven middagen gespreid over een jaar, en is dus uiteraard onvoldoende om veel meer te bereiken dan Eijck et al (2010) beschreven. *Daarom proberen we via allerlei andere constructies de intensiteit en duur van contact met leerkrachten en lespraktijk te vergroten.* Met schoolvereniging Samen Tussen Amstel en IJ (STAIJ) is er een excellentieproject waarin zes van de zeventien scholen W&T-excellentieactiviteiten ontwikkelen en uitvoeren. Een zesjarig Opleiden in de School-project met STAIJ heeft ook extra aandacht en faciliteiten voor W&T en geeft meer gelegenheid om een W&T-programma te ontwikkelen en leerkrachten te begeleiden in uitvoering. Verder wordt gebruik gemaakt van stages van W&T-minorstudenten en duostages van pabostudenten met techniek of bètastudenten om leerkrachten te assisteren bij de ontwikkeling van W&T in de klas. Dit betrof ongeveer 130 studenten in 2009 en 2010.

De moraal van het verhaal: verandering in de richting van onderzoekend en ontwerpend leren vereist een grote investering in leerkrachten door intense nascholing van minimaal tachtig uur (Supovitz & Turner, 2000) en begeleiding in de klas (Appleton, 2008). Een dergelijke intensiteit kan voor een relatief kleine groep bereikt worden door handig gebruik te maken van diverse projecten en die in te zetten in een nascholingsleerlijn richting *minds-on* W&T-onderwijs. Optimisten, onder wie ikzelf, verwachten van zo'n kleine groep op de lange duur een 'inktvlekwerking' naar een grotere groep.

9. ICT-ondersteuning voor *minds-on* leren

ICT in W&T-onderwijs kent veel verschijningsvormen: applets, films, cartoons, digitaal schoolbord, data bases, chat, games, ELO, etc. Het AMSTEL Instituut van de Universiteit van Amsterdam heeft zich heel bewust gericht op ICT-gebruik in W&T-experimenten (en op robotica) omdat juist daar toepassing van ICT uniek is voor onderwijs in de natuurwetenschappen en techniek en omdat ICT de drempel naar weerbarstige en moeilijke experimenten sterk kan verlagen. Dit soort ICT-toepassingen wordt *data logging* genoemd. Metingen worden gedaan met behulp van sensoren. De metingen worden automatisch opgeslagen in de computer en er is software die metingen op diverse manieren kan representeren en bewerken in tabellen en grafieken, zoals te zien in figuur 8, dat een typisch scherm weergeeft met drie verschillende representaties van temperatuur. Op de website www.pollen-europa.nl (kies EuroSense) zijn veel activiteiten te vinden inclusief werkbladen, docentenhandleiding en stuurbestanden per activiteit.

Hoewel grafieken potentieel een krachtig middel zijn om heen-en-weer denken tussen begrip en experiment te bevorderen, zou je niet verwachten dat dit voor kinderen op de basisschool al zou gelden. Wavering (1989) presenteerde onderzoeksgegevens die aangaven dat de constructie van grafieken formeel operationeel (Flavell, 1963) denken vereist van leerlingen. Dat is misschien wat overdreven, maar wel is het zo dat de punt-voor-punt constructie van grafieken de aandacht afleidt van patronen. Onderzoek in Engeland (Swatton & Taylor, 1994) laat zien dat traditionele methoden redelijk effectief zijn in het onderwijzen van algoritmische basisvaardigheden met grafieken. Maar op 11-13-jarige leeftijd zijn de meeste leerlingen nog niet in staat:

'... to appreciate their (graph's) power as models of underlying variable relationships presented symbolically in this way.' (p. 239)

In het bekende *review*-artikel over grafiekbegrip van leerlingen stellen Leinhardt et al (1990, p. 11) dat 'overemphasis on pointwise interpretations may result in a conception of a graph as a collection of isolated points rather than as an object or a conceptual entity'. En die *conceptual entity* daar gaat het nu net om. Het zelf construeren van een grafiek is onderdeel van de ruis die het bereiken van leerdoelen in de weg zit. Bij de AMSTEL-toepassingen is grafiekconstructie geautomatiseerd door de ICT. Via sensoren komen grafieken op een heel natuurlijke en speelse manier het leven van kinderen binnen. De grafiek is geen kunstmatige representatie, maar wordt direct gekoppeld aan het spel (zoals het namaken van een gegeven grafiek door voor- en achteruit te lopen). De acties (vooruit, achteruit, snel, langzaam) worden direct gecorreleerd met de representatie in de grafiek. Het directe verband tussen acties van het kind en de grafiek op het scherm is zeer krachtig. De grafiek verandert op hetzelfde tijdstip dat de leerling van of naar de afstandsensor loopt. Die gelijktheid werkt heel goed.

McFarlane et al (UK, 1995) bestudeerden de effecten van *data logging* op de ontwikkeling van vaardigheden van kinderen van 7 en 8 jaar oud om grafieken te lezen, te interpreteren en te schetsen. Kinderen die de *data logging*-variant van experimenten hadden uitgevoerd, konden grafieken beter lezen, interpreteren en schetsen dan hun klasgenoten die experimenten zonder sensoren en *data logging*-software hadden uitgevoerd. In de woorden van McFarlane et al (1995):

'Their ability to read and interpret temperature/time graphs was greatly enhanced as a result, and it is particularly significant that their ability to sketch temperature time curves to predict the behavior of a novel system also improved.

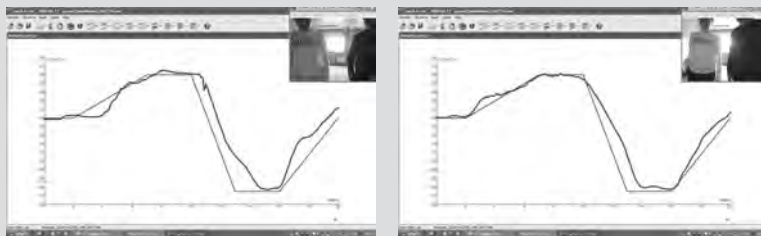
The children in the control group showed no significant gains in the same skills set, despite being taught by more experienced, highly skilled teachers using exemplary methodology, but restricted to traditional resources.' (p. 477)

Zucker et al (VS, 2007) voerden een studie uit met 70 leerkrachten en bijna 1200 kinderen van groep 5 tot klas 2 middelbaar onderwijs om de TEEMS2-modules (Technology Enhanced Elementary and Middle School Science) te evalueren. Zij vonden voornamelijk positieve resultaten voor *data logging*. Binnen deze grote studie was er een vergelijking van klassen van 21 leerkrachten van groepen 5-6, 7-8, en klas 1-2 voortgezet onderwijs die eerst een jaar zonder ICT werkten en een tweede jaar met. Voor vier van de acht modules waren er significante verschillen ten gunste van de klassen die met sensoren en ICT werkten op inhoudelijke toetsen die waren samengesteld met items van stan-

daardtoetsen als TIMSS en NAEP. In een studie met uitzonderlijk degelijke methodologie – zoals random selectie van scholen en random toewijzing van klassen/leerkrachten aan experimentele en traditionele methoden – vonden Nicolaou et al (Cyprus, 2007) dat groep 6-kinderen (leeftijd 9 en 10 jaar) met ervaring in *data logging* beter presteerden in de constructie en interpretatie van lijngrafieken dan hun leeftijdgenoten die geen *data logging*-ervaring hadden. Ze presteerden ook beter op vragen die begrip vereisten van fase-overgangen (bevriezen, smelten, verdampen, etc.). Er zijn dus sterke aanwijzingen dat *data logging*-activiteiten positieve resultaten kunnen hebben op het niveau van de basisschool en dat lijngrafieken productief en met begrip gebruikt kunnen worden op het niveau van groep 6 (Nicolaou et al, 2007) en zelfs eerder (McFarlane et al, 1995).

Grafieken tekenen met een afstandsensor

Een grafiek verschijnt op het scherm. Rina (groep 7 maar ze rekt op groep 6-niveau) kiest haar positie tot een rood kruisje precies bij het startpunt van de grafiek (figuur 8) staat. Dat betekent dat ze precies op de goede afstand staat van de afstandsensor. Dan drukt Marja met de muis op de groene knop op het scherm en begint de computer een grafiek te tekenen. Door voor- en achteruit te lopen, kan Rina de grafiek omlaag en omhoog sturen. Door sneller te lopen wordt de grafiek steiler. Ze probeert haar loopgrafiek zo dicht mogelijk bij de al op het scherm getekende grafiek te krijgen. De eerste keer lukt dat absoluut niet maar bij de tweede of derde herhaling begint het er al op te lijken. Resultaten van Willem, een klasgenoot, zijn opgenomen in figuren 8A en 8B.



Figuur 8A: Tweede poging van Willem Figuur 8B: Derde poging van Willem
 Figuur 8: Afstand – tijd grafieken in groep 7 en 8

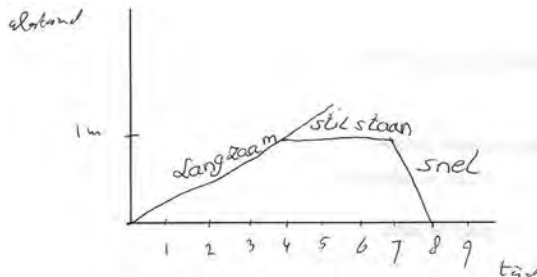
Rina en Marja vinden uit dat de grafiek op het scherm informatie bevat. Het is een recept. Grafiek omhoog betekent dat je achteruit moet lopen. Omlaag is vooruit. Een steile grafiek betekent snel lopen, een vlakke grafiek stilstaan. De tijd in de grafiek geeft aan hoe lang je elk van die acties moet uitvoeren. Je kunt dus opdrachten geven door middel van grafieken. Maar omgekeerd kun je ook een grafiek tekenen door te lopen. Bijvoorbeeld: hoe teken je een grafiek met twee bobbel? Door twee keer achteruit te lopen en terug! Met een grafiek kun je dus kort en krachtig iets vertellen.

Wat zijn onze AMSTEL-ervaringen? In het schooljaar 2007-2008 voerden 280 kinderen van 4 scholen in de Amsterdamse stadswijk Oud-West experimenten uit met EuroSense in een klassikaal en mobiel computerlab. De activiteiten en EuroSense bleken goed te functioneren. Een piepkleine interviewstudie (Berg et al, 2008) van vier groep 7- en vier groep 8-kinderen op een van de scholen laat zien dat kinderen zich de activiteiten goed herinneren, dat alle kinderen waarden uit de grafiek kunnen aflezen op de horizontale (tijd) en verticale as, maar dat een deel van de kinderen moeite heeft met tijdsintervallen. Alle kinderen konden grafieken interpreteren in termen van hoe de sensor gemanipuleerd werd om de grafiek te krijgen. Ze wijzen in de grafiek aan waar een sensor in het licht of donker werd gehouden of water werd opgewarmd of afgekoeld. Alle kinderen konden ook met de sensor een willekeurige door de interviewer gegeven grafiek namaken. Ze kunnen de sensormanipulaties dus heel goed verbinden met de grafische representatie. Een vraag om een experiment te bedenken voor een eerlijke vergelijking van de helderheid van twee lampjes werd slechts door één kind goed beantwoord, een kind met een vmbo-advies. Eerlijke vergelijking met een controle-experiment werd niet onderwezen in de activiteiten, en het is bekend dat *controlling variables* een moeilijke stap is in het leren onderzoeken door kinderen.

Vanaf groep 7 maken kinderen kennis met lijngrafieken. In de methode Rekenrijk (2001) is dat onder andere door afstand-tijd grafieken van stoptrein en sneltrein. In het voorjaar van 2009 voerden veertig kinderen van groepen 7 en 8 van een school in Bussum twee activiteiten uit met sensoren, dit keer om de beurt in een leerhoek zodat weinig apparatuur vereist was. De leerdoelen waren dat kinderen connecties kunnen maken tussen verschijnselen en getallen en grafieken. Dat ze leren dat een grafiek een verhaal kan vertellen en dat ze met elkaar kunnen communiceren door middel van grafieken. En ten slotte

dat ze een grafiek kunnen gebruiken in een nieuwe context zoals in een onderzoekje.

De kinderen deden allemaal een activiteit met de afstands sensor en een maand later een activiteit met de temperatuursensor. Elke activiteit duurde ongeveer 20 minuten. Totaal slechts 40 minuten dus. Dit werd gedaan in een leerhoek in tweetallen. De meeste kinderen hadden al een korte introductie tot grafieken gehad in de methode Rekenrijk. Rina nog niet, ze rekende immers op groep 6-niveau. Zoals we zagen kon ze door voor- en achteruit te lopen niet alleen de grafiek op het scherm goed imiteren, tijdens het interview ruim een maand na de laatste activiteit bleek ze ook zelf op papier een correcte grafiek te kunnen schetsen van de beweging van de interviewer die achteruit en vooruit liep met verschillende snelheden (figuur 9). En dat terwijl ze nooit eerder een grafiek getekend had. Van de kinderen van groep 7 en 8 was 70% in staat het lopen van de interviewer om te zetten in een acceptabele grafiek met een correcte weergave van zowel richting als verhouding van snelheden.



Figuur 9: Rina's schets van de beweging van de interviewer. Assenstelsel getekend door interviewer, grafiek en tekst erbij door Rina

Gebruiken van sensor en grafieken in een nieuwe context... onderzoekend leren: Kinderen hadden nog niet met een soundsensor (microfoon) gewerkt. In het interview illustreerde ik de soundsensor door wat geluiden op te nemen inclusief klappen. Vervolgens stelde ik voor dat we een wedstrijd snelklappen moesten beoordelen: wie klapt het snelst? De vraag aan de kinderen was of en hoe we de sensor en grafieken konden gebruiken om de snelste klapper te kiezen. Dit is een vraag over transfer van kennis/ervaring naar een compleet nieuwe situatie. 60% van de groep 7- en groep 8-leerlingen kwam tot een acceptabel antwoord. Groep 8-leerlingen kwamen met een frequentiebeprij: tellen van aantal pieken en delen door de tijd. Groep 7-kinderen wilden het tijdsinterval tussen twee achtereenvolgende pieken meten. Voor details zie Berg et

al (2010). Zelfs na slechts twee ervaringen met sensoren en bijbehorende grafieken bleek een deel van de kinderen in staat een nieuwe sensor/grafiek toe te passen in een compleet nieuwe situatie.

Wat zijn de uitdagingen in de implementatie van deze ICT-activiteiten in de klas?

1. Leerkrachten ervaren een grote drempel in deze technologie, voor leerlingen bestaat deze drempel niet.
2. Begeleiding van leerlingen kan in principe door een estafettesysteem waarbij een groepje leerlingen dat de activiteit heeft gedaan het volgende groepje helpt. Maar we ervaren daarbij wel *fine-tuning* problemen, bijvoorbeeld dat het instruerende groepje te veel weggeeft, of dat uitvoering onvoldoende *minds-on* is.
3. Tot dusver doen leerlingen activiteiten die tamelijk standaard zijn, en zijn ze nog niet echt bezig met onderzoekend leren. In het excellentieproject van STAIJ hopen we de sprong naar onderzoekend leren met sensoren te maken.

De reactie van leerkrachten komt overeen met ervaringen in de UK. Dillon (2008, p. 58) schrijft over ICT-gebruik op zowel basisscholen als middelbare scholen:

‘A recent, unpublished, study of the impact of a London Science Challenge initiative, suggests that, in terms of the use of ICT in schools, supply far outweighs demand. There appears to be little evidence of sustained, focused use of ICT in science lessons on any significant scale. While examples of good practice exist, teachers appear to prioritize other approaches to the teaching of science. It is difficult to see the situation changing substantially in the near future despite evidence that appropriate use of ICT in science can lead to higher attainment and more positive attitudes to science.’

Kortom, kinderen kunnen het werken met sensoren en grafieken goed aan en bij de juiste begeleiding kan dit het *minds-on* heen-en-weer denken tussen begrippen en metingen sterk stimuleren. De bottleneck is het vermijden van ICT door leerkrachten. Begrijpelijk, want ze moeten zoveel, maar jammer.

10. Samenvattend: wat hebben we geleerd?

- W&T is een schitterend vak dat kinderen op hun niveau veel te bieden heeft en waar ze veel plezier maar ook veel uitdaging aan kunnen ontleen. Het vormt een zeer legitiem onderdeel van hun wereldoriëntatie.
- De kern van W&T is het heen-en-weer denken tussen de Wereld van Ideeën en de Wereld van Dingen, tussen theorie/verwachtingen en werkelijkheid. Dit vereist *minds-on science*.
- W&T kan uitstekend functioneren als context en oefengebied voor andere vakken als taal en rekenen. Dit wordt gestaafd door interessante projecten en onderzoek (Klentschy, 2008).
- Het uitvoeren van *hands-on* activiteiten is geen wonderolie voor W&T-leren. Experimenten zijn weerbarstig, zowel in de geschiedenis van de wetenschap als in de geschiedenis van het leren. Activiteiten kunnen veel ruis veroorzaken en het vereist veel vakmanschap (*Pedagogic Content Knowledge!*) om, na het optrekken van de kruitdampen, over het slagveld van gesneuvelde ideeën en misconcepten te trekken in de richting van het gewenste begrip.
- W&T-lessen kunnen gegeven worden op veel manieren, variërend van laagdrempelige activiteiten als op www.proefjes.nl, tot veeleisende cycli van onderzoekend en ontwerpend leren (OOL). Dit laatste vereist van leerkrachten een lang traject van ervaring: van eenvoudige, eenmalige activiteiten, naar het implementeren van gecompliceerde cycli van onderzoekend en ontwerpend leren. Dit traject moet ondersteund worden door voldoende achtergrond in W&T-kernbegrippen, eigen ervaring met eenvoudig onderzoek, lesmateriaal met duidelijke leerlijnen en samenhangende activiteiten, en ondersteuning in het persoonlijke ontwikkelingsproces door begeleiding en samenwerking met collega's (*communities of practice*).
- OOL wordt universeel gepropageerd als ideale methode voor W&T-onderwijs. Het is echter een methode die een hoog kennis- en vaardigheidsniveau vereist van de leerkracht. Naast OOL zijn er andere gebruiksvriendelijker methoden in de *toolbox* van de W&T-docent die ook tot *minds-on science* leiden, zie Vaan & Marell (2006) en Keogh & Naylor (1999).
- Er is heel veel lesmateriaal in Nederland, maar veelal voor eenmalige activiteiten. Andere landen die *hands-on, minds-on science* invoeren, doen dat meestal door adoptie van een gerenommeerde methode zoals STC (Zweden, Berlijn), INSIGHTS (Frankrijk) of door het ontwikkelen van een complete eigen methode (Australië). Dan zijn er duidelijke leerlijnen, is duidelijk om welke W&T-inhoud het gaat. Dan heeft docenttraining een veel duidelijker focus met meer concrete resultaten. En dan kan het W&T-pro-

- gramma op een school zich veel sneller ontwikkelen in de richting van leerlijnen, en uiteindelijk tot een niveau waarop men zulke duidelijke leerlijnen heeft dat de methode kan worden losgelaten.
- De nationale aandacht en subsidies voor W&T-onderwijs scheppen veel kansen om het basisonderwijs te verrijken met een schitterend leergebied dat ook nog als een mooie context kan dienen voor andere leergebieden. Maar men moet beseffen dat een langdurig proces nodig is om de vakken-nis en ervaring op te bouwen die nodig zijn om de vruchten te plukken van dat nieuwe leergebied.

11. Ten slotte

W&T wordt de school ingeduwd met grote subsidies en prachtige projecten van het Platform Bèta Techniek. Het lijkt erop dat dit nog even doorgaat, gezien de 90 miljoen euro die voor 2011-2016 geëncmitteerd is voor W&T op de basisschool. Maar de ouderen onder ons hebben meer projecten gezien en zullen zich herkennen in de volgende uitspraak van Clarence Beeby² (1992, p. 270):

‘I never cease to grieve at the tragedy of pilot projects, not the tragedy of those that fail – failures are to be expected – but the tragedy of those that succeed and then vanish into thin air.’

Laten we met zijn allen de komende tien jaar voorkomen dat dit gebeurt.

Dankwoord

Het Expertisecentrum Wetenschap en Techniek (EWT) en bijbehorend lectoraat werden gerealiseerd dankzij de visie van Ton Ellermeijer, directeur AMSTEL Instituut van de Universiteit van Amsterdam, en Marjan Freriks, voorzitter van het domein Onderwijs en Opvoeding van de Hogeschool van Amsterdam. Beiden volgen de verrichtingen van het EWT kritisch en vol belangstelling en zijn altijd bereid tot ondersteuning. Het Platform Bèta Techniek verleende de benodigde subsidie in een programma dat inmiddels vijf regionale Kenniscentra voor Wetenschap en Techniek telt.

In Paul Ruis, Frank Sengers, Rene Onclin, Thomas van Eijck, Welmoet Damsma, Koen Peters en Patricia Kruit, allen HvA, trof ik uitstekende en zeer gemotiveerde collega’s waarmee het uiterst prettig en productief samenwerken is.

Dat geldt ook voor opleiders van Ipabo (Edith Louman, Jenny Schruppf), IN-Holland (Wim van Beek, Paul Toonen, Ron Glandorf, Wim Koersen) Pabo Almere (Ben Willers, Marcel Staring), en NEMO (Laura van Veen) en Artis (Paul Valenkamp). De set-up van het EWT – hoewel complex met vier Pabo's, zeven campussen, NEMO, Artis, AMSTEL en RTCA –, en de goede coördinatie door Paul Ruis zorgden ervoor dat ik als lector vanaf de eerste dag direct ingebed was en aan de slag kon.

Collega's van het AMSTEL wil ik collectief bedanken voor hun professionele ondersteuning en voor de goede werksfeer. Speciale dank voor Frank Schweickert en Gerda Manneveld van de AMSTEL primair onderwijsgroep die ook bijdroegen tot het boven gepresenteerde onderzoek.

Dank ook aan Petra-Eszter van Beveren en Marieke Pit voor ondersteuning van het HvA Kenniscentrum en aan collega-lectoren. Vanwege de vele taken en contacten binnen ons eigen EWT heb ik wat minder actief deelgenomen aan Kenniscentrumactiviteiten, maar ik wist dat jullie altijd klaar stonden.

Voor mijn vrouw Daday, die ook natuurkundeleraren opleidt en inmiddels 27 jaar naaste collega in vier verschillende landen is, kom ik woorden te kort. Elke avond is er een veilige haven om binnen te lopen. Zonder vrouw Daday en dochter Anjulie zou ik niet in staat zijn dit lectoraat te bekleden.

Noten

1. PISA-definitie van scientific literacy: The capacity to use scientific knowledge, to identify questions and to draw evidence-based conclusions in order to understand and help make decisions about the natural world and the changes made to it through human activity (OECD, 2003, p. 133).
2. Beeby was twintig jaar lang directeur van onderwijs in Nieuw-Zeeland en leidde de belangrijkste onderwijsvernieuwingen in Nieuw-Zeeland in de 20ste eeuw. Vervolgens was hij bij Unesco pionier op het gebied van beleidsadvisering over onderwijs in ontwikkelingslanden.

Referenties

- A Private Universe (1997). Cambridge (Massachusetts): Harvard University.
- 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), 1945-1969.
- APP (2010a). <http://nationalstrategies.standards.dcsf.gov.uk/node/263985>, geraadpleegd 19 maart 2010.
- APP (2010b). http://nationalstrategies.standards.dcsf.gov.uk/node/259165?uc%20=%20force_uj, geraadpleegd 19 maart 2010.
- Appleton, K. (2003). How do beginning primary school teachers cope with science? Toward an understanding of science teaching practice. *Research in Science Education*, 33(1), 1-25.
- Appleton, K. (2007). Elementary science teaching. In: Abell & Ledermann: Handbook of Research on Science Education. Mahwah (NJ, USA): Lawrence Earlbaum Associates, 493-536.
- Appleton, K. (2008). Developing science pedagogical content knowledge through mentoring elementary teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 19, 523-545.
- ASE (2010). Twee workshops tijdens de jaarlijkse conferentie van de Association for Science Education, Nottingham, 5-8 januari 2010.
- Barrow, L. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17, 265-278.
- Bates, G. (1978). The role of the laboratory in secondary school science programs. In: M.B. Rowe (ed.), What Research Says to the Science Teacher (Vol. I, p. 55-82). Washington D.C. National Science Teachers Association.
- Beeby, C.E. (1992). Biography of an Idea. Wellington (Nieuw-Zeeland). NZCER (New Zealand Council of Educational Research).
- Beek, W. van, Verhallen, M. (2004). Taal een zaak van alle vakken. Bussum: Coutinho.
- Bell, B., Cowie, B. (2001). The Characteristics of Formative Assessment in Science Education. *Science Education*, 85, 536-553.
- Berg, E. van den, Giddings, G. (1992). Teaching in the Laboratory: An alternative view. Monograph. Perth: Science and Mathematics Education Centre, Curtin University of Technology.
- Berg, E. van den, Buning, J. (1994). Practicum: leren ze wat? *NVOX*, 19(6), 245-249.
- Berg, E. van den, Grosheide, W. (1997). Learning and teaching about energy, power, current and voltage. *School Science Review*, 78(284), 89-94.
- Berg, E. van den, Schweickert, F., Berg, R. van den (2008). Science, sensors and graphs. Paper presented at the biennial GIREP Conference, Nikosia (Cyprus), 17-22 August 2008.
- Berg, E. van den, Schweickert, F., Manneveld, G. (2010). Learning Graphs and Learning Science with Sensors in Learning Corners in Grades 5 and 6. In: M.F. Taşar & G. Çakmacı (eds.), Contemporary Science Education Research: Teaching (pp. 383-394). Ankara, Turkey: Pegem Akademi. (download: <http://www.naturfagsenteret.no/esera/> kies book I).

- Black, P., & Wiliam, D. (1998a). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education*, 5, 7-74.
- Black, P., Wiliam, D. (1998b). Inside the black box: raising standards through classroom assessment. *Phi Delta Kappa*, 80(2). <http://www.pdkintl.org/kappan/kbla9810.htm>.
- Buistraan, W., Dirks, H. (2008). Natuurwetenschap en kunst (1). *NVOX*, 33(9), 398-399.
- Buistraan, W., Dirks, H. (2009). Natuurwetenschap en kunst (2). *NVOX*, 34(2), 75-76.
- Buzzard B. and Jarvis T. (1999) Optimising INSET Approaches in Primary Science and Design Technology. *Journal of In-service Education* 25(2), 337-352.
- Campbell, B., Fulton, L. (2003). Science Notebooks: Writing About Inquiry. Portsmouth (NH), Heinemann.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1998). An Empirical Test of a Taxonomy of Responses to Anomalous Data in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Coates, D., Vause, J., Jarvis, T., McKeon, F. (1998). Mentoring Primary Science. Leicester: SCICentre, University of Leicester.
- Coe, M.A. (2001). <http://faculty.mwsu.edu/west/maryann.coe/coe/inquire/inquiry.htm> (het laatst geraadpleegd 21 februari 2010).
- Damsma, W., Berg, E. van den (2008). Spiegeltje, spiegeltje aan de wand.....Leskist over spiegels. <http://www.pollen-europa.nl/ewt> (het laatst geraadpleegd 16 april 2010).
- Damsma, W., Berg, E. van den, Manneveld, G. (2009). The Magic Mirror! *Science and Children*, 47(4), 45-47.
- Davis, K.S. (2003). "Change is Hard": What Science Teachers Are Telling Us About Reform and Teacher learning of Innovative Practices. *Science Education*, 87, 3-30.
- Dewey, J. (1910). Science as subject-matter and as method. *Science*, 31, 121-127.
- Dewey, J. (1916). Method in science teaching. *The Science Quarterly*, 1, 3-9.
- Dillon, J. (2008). A review of the research on practical work in school science. http://www.score-education.org/zprojects/practical_work.htm (het laatst geraadpleegd 31 maart 2010).
- Duit, R. (2007). Bibliography – STCSE. Students' and Teachers' Conceptions and Science Education. <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.
- Eijck, T. van, Berg, E. van den (2008). Het effect van nascholingen onderzoekend en ontwerpend leren bij wetenschap en techniek in het primair onderwijs in de regio Amsterdam: een nulmeting. Paper gepresenteerd op de Onderwijs Research Dagen, Eindhoven, 20 juni 2008.
- Eijck, T. van, Berg, E. van den, Louman, E. (2010). Preliminary effects of a large in-service scheme on school program and classroom practice in elementary science and technology education in the Netherlands. In: M.F. Taşar & G. Çakmakçı (eds.), Contemporary science education research: preservice and inservice teacher education (pp. 373-383). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Flavell, J.H. (1963). The developmental psychology of Jean Piaget. New York: Van NostrandReinhold.
- Fullan, M.G. (1991, 2001). The new meaning of educational change (2nd, resp. 3rd edition). London: RoutledgeFalmer.

- Gauld, C.F. (1985). Teaching about electric circuits. University of Waikato (Nieuw-Zeeland). Working paper of the Science Education Research Unit.
- Gauld, C.F. (1986). Models, meters and memory. *Research in Science Education*, 16, 49-54.
- 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.
- Graft, M. van (2003). Utrecht: Freudenthal Instituut voor Natuurwetenschappen: Verslag Woudschoten Conferentie 2003.
- Graft, M. van, Kemmers, P. (2007). Onderzoekend en Ontwerpend Leren in Natuur en Techniek. Den Haag: Stichting Platform Bèta Techniek.
- Groot, A.D. de (1969). Methodology: Foundations of inference and research in the behavioral sciences. Den Haag: Mouton.
- Hackling, M. (2006). A new approach to primary science and to teacher professional learning. Proceedings ACER Research Conference: Boosting science learning, what will it take? Canberra, August 13-15, 2006. http://www.acer.edu.au/research_conferences/2006.html (geraadpleegd 31 maart 2010).
- Harlen, W. (1997). Primary teachers' understanding in science and its impact in the classroom. *Research in Science Education*, 27(3), 323-337.
- Harlen, W. (2006). Teaching, learning & Assessing Science 5-12 (4th edition). London: SAGE Publications.
- Harlen, W. Qualter, A. (2004). The Teaching of Science in Primary Schools (4th edition). David Fulton Publishers.
- Hewson, P. (2007). Teacher professional Development in Science. In: Abell & Ledermann: Handbook of Research on Science Education. Mahwah (NJ, USA): Lawrence Erlbaum Associates, 1177-1202.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
- Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the 21st century. *Science Education*, 88, 28-54.
- Holton, G. (1973). Thematic origins of scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge: Harvard University Press.
- Hooykaas, R. (1971). Geschiedenis van de Exacte Wetenschappen. Oosthoek, ISBN 90 6046 581 4.
- Joyce, B., & Showers, B. (1988, 1996). Student achievement through faculty development. London: Longman.
- Katu, N. (1992). Development of conceptions in basic electricity: an exploratory study using teaching experiment methodology. Unpublished PhD thesis Pennsylvania State University.
- Kaya, S., Rice, D.C. (2010). Multilevel Effects of Student and Classroom Factors on Elementary Science Achievement in Five Countries. *International Journal of Science Education* (in press), <http://dx.doi.org/10.1080/09500690903049785>.
- Keogh, B., Naylor, S. (1999). Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431-446.

- Keulen, H. van (2009). Drijven en zinken, wetenschap en techniek in het primair onderwijs. Oratie Fontys Pabo Limburg, 26 juni 2009.
- Keys, C.W. (1998). A Study of Grade Six Students Generating Questions and Plans for Open-Ended Science Investigations. *Research in Science Education*, 28(3), 301-316.
- Klentschy, M.P. (2008). Using Science notebooks in Elementary Classrooms. Washington: NSTA Press.
- Klentschy, M. and 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/ElCentroSciNotebooks.pdf>, geraadpleegd 29 november 2008).
- Kuhn, D. (1997). Constraints or guideposts? Developmental psychology and science education. *Review of Educational Research*, 67(1), 141-150.
- La Main à la Pâte (2008). Internetlink geraadpleegd 28 november 2008. http://lamap.inrp.fr/?Page_Id=12&Action=1&DomainPedagogyType_Id=2.
- Leinhardt, G., Zalavsky, O., Stein, M.K. (1990). Functions, graphs and graphing: tasks, learning and teaching. *Review of Educational Research*, 60, 1-64.
- Loucks-Horsley, S., Hewson, P., Love, N., Stiles, K., (1998). *Designing Professional Development for Teachers of Science and Mathematics*. Thousand Oaks, CA, Corwin.
- Lunetta, V.N., Hofstein, A., Clough, M.P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research and practice. In: Abell and Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah (NJ), Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 393-442.
- Mason, S.F. (1962). *A History of the Sciences*. Collier Macmillan.
- McFarlane, A.E., Friedler, Y., Warwick, P., Chaplain, R. (1995). Developing and understanding of the meaning of line graphs in primary science investigations, using portable computers and data logging software. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 14(4), 461-480.
- Millar, R. (2010). *Analysing practical science activities*. College Lane, Hatfield (UK): Association for Science Education, ISBN 9780863574252.
- Millar, R., Driver, R. (1988). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Minner, D.D., Levy, A.J., Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Resulta from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research of Science Teaching*, 47(4), 454-473.
- Naylor, S., Keogh, B., Downing, B. (2007). Argumentation and primary science. *Research in Science Education*, 37, 17-39.
- Newton, L. (2000). Data-logging in practical science: research and reality. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1247-1259.
- Nicolaou, C.T., Nicolaidou, I.A., Zacharia, Z.C., Constantinou, C.P. (2007). Enhancing fourth graders' ability to interpret graphical representations through the use of microcomputer-based labs implemented within an inquiry-based activity sequence. *Journal of computers in Mathematics and Science Teaching*, 26(1), 75-99.
- NRC (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Washington: The National Academies Press.

- NSES (1996). National Science Education Standards. Washington: National Academy of Sciences. <http://www.nap.edu/catalog/4962.html>.
- OECD (2003). The PISA 2003 Assessment Framework. Paris: OECD.
- Oliveira, A.W. (2010). Developing elementary teachers' understandings of hedges and personal pronouns in inquiry-based science classroom discourse. *Journal of Science Teacher Education*, 21(1), 103-126.
- Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Science & Technology Education*, 1(1), 73-82.
- Osborne, R., Freyberg, P. (1985). Learning in science: the implications of children's science. Auckland: Heinemann.
- Pais, A. (1982). *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press.
- Primary Connections (2005). Australian Academy of Science. <http://science.org.au/primaryconnections>. Het laatst geraadpleegd op 16 april 2010.
- QCA (1999) The National Curriculum for England and Wales. <http://curriculum.qca.org.uk/key-stages-1-and-2/subjects/science/index.aspx>.
- QCA (2009). Scientific and Technological Understanding Programme of Learning. UK National Curriculum 2009.
- Reif, F., & St. John, M. (1979). Teaching physicists' thinking skills in the laboratory. *American Journal of Physics*, 47(11), 950-957.
- Rekenrijk (2001). 2nd editie. Groningen: Noordhoff Uitgevers.
- Rocard, M et al (2007). Science Education Now: a renewed pedagogy for the future of Europe. Brussels: European Commission Directorate-General for Research.
- Rowe, M.B. (1974) Wait-time and rewards as instructional variables, their influence on language, logic and fate control: Part 1. Wait time. *Journal of Research in Science Teaching*, 11, 81-94.
- Sefton, I. (2002). Understanding Electricity and Circuits: What the Text Books Don't Tell You. University of Sydney: <http://science.uniserve.edu.au/school/curric/stage6/phys/stw2002/>.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-21.
- 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), 1229-1249.
- Supovitz, J.A., Turner, H.M. (2000). The effects of professional development on science teaching practices and classroom culture. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 963-980.
- Swatton, P., Taylor, R.M. (1994). Pupils performance in graphical tasks and its relationship to the ability to handle variables. *British Journal of Educational Research*, 20, 227-243.
- Thijs, G.D., Berg, E. van den (1995). Cultural factors in the origin and remediation of alternative conceptions in physics. *Science and Education*, 4, 317-347.
- Vaan, E. de, Marell J. (2006). *Praktische Didactiek voor Natuuronderwijs*. Bussum: Coutinho.
- Wavering, M. (1989). Logical reasoning necessary to make line graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(5), 373-379.

- Wiser, M., Carey S. (1983). When heat and temperature were one. In: Gentner, D. & Stevens, A.L. (eds.), *Mental Models*. Erlbaum Publishing.
- Worth, K., Duque, M., Saltiel, E. (Montrouge, France): *La Main à la Pâte* (2009). Designing and Implementing Inquiry-Based Science Units for Primary Education. <http://www.pollen-europa.net/?page=ietK5bjge50%3D>.
- Zemba-Saul, C., Blumenfeld, P., Krajcik, J. (2000). Influence of guided cycles of planning, teaching, and reflection on prospective elementary teachers' science content representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 318-339.
- Zubrowski, B. (2007). An observational and planning tool for professional development in science education. *Journal of Science Teacher Education*, 18, 861-884.
- Zucker, A.A., Tinker, R., Mansfield A., Metcalf, S., Staudt, C. (2007). A summary of research on the TEEMS II project. The Concord Consortium. http://www.concord.org/publications/detail/TEEMSS_Research_Summary_April_2007.pdf.

Curriculum vitae

Ed van den Berg (1951) studeerde Natuurkunde aan de Vrije Universiteit, behaalde zijn doctoraal begin 1975, gaf korte tijd les in het middelbaar onderwijs en vertrok toen met een Fulbright-beurs naar de VS. Hij promoveerde in *Science Education* aan de *University of Iowa* (1978) bij Vincent Lunetta en Pinchas Tamir. Vervolgens werkte hij als Unescomedewerker in Nairobi, gaf weer korte tijd les in natuurkunde in Nederland en werd toen door de VU gedetacheerd in Salatiga (Indonesië) als docent en ontwikkelaar aan een nieuwe leraarsopleiding van Satya Wacana Christian University (1981-1991). Tussendoor was Ed een half jaar lang gastdocent aan Curtin University of Technology in Perth in Australië (1986). Van 1991-1996 werkte hij als vakdidacticus natuurkunde aan de VU om vervolgens weer uit te vliegen als docent en ontwikkelaar naar een VU-project voor het opleiden van leraren exacte vakken aan de University of San Carlos in Cebu City, Filippijnen (1996-2002). Er zijn nog steeds wekelijks contacten met alumni en collega's van deze opleiding. Na terugkeer werkte hij achtereenvolgens aan de VU (2002-2004), Universiteit Utrecht (2002-2005) en het AMSTEL Instituut van de UvA (2005-heden). Hij was in die periode onder andere betrokken bij het Project Moderne Natuurkunde, de start van het Junior College in Utrecht, de organisatie van het wereldwijde GIREP congres in 2006 in Amsterdam en het project Nieuwe Natuurkunde (NiNa) voor de bovenbouw van havo en vwo, dat gecoördineerd wordt vanuit het AMSTEL Instituut. Vanaf 1 juni 2008 is hij twee dagen per week gedetacheerd als lector Wetenschap en Techniekonderwijs aan de Hogeschool van Amsterdam met speciale aandacht voor Wetenschap en Techniek in het basisonderwijs. Dit lectoraat is onderdeel van het regionaal Expertisecentrum Wetenschap en Techniek. Aan het AMSTEL zelf leidt hij de primair onderwijsgroep en is hij betrokken bij leraarsopleiding, Masterprogramma en vaardigheidscursussen voor studenten natuur- en sterrenkunde.

Ed van den Berg heeft ongeveer driehonderd publicaties op zijn naam waaronder veel vakpublicaties in binnen- en buitenlandse leraartijdschriften. Momenteel is hij lid van de redacties van de *International Journal of Science Education* en de *Journal of Research in Science Teaching*. Van dit laatste tijdschrift was hij ook *Associate Editor* van 2000-2002. Wat onderzoek betreft publiceerde hij onder andere over effectiviteit van practicum in de natuurwetenschappen, begripsmoeilijkheden in natuur- en scheikunde, leraarsopleiding in ontwikkelingslanden, en gebruik van sensoren en grafieken op de basisschool.

Ed is gehuwd met Rosea (Daday) Aguilar, eveneens een natuurkunde-ontwikkelaar en docente die volop meewerkte aan de leraarsopleidingen in Salati-

ga en Cebu, en vóór die tijd haar sporen verdiende als ontwikkelaar aan het *University of the Philippines Science Education Center* (nu UP-NISMED). Dochter Anjulie werd geboren in Salatiga en studeert fysiotherapie aan de Hogeschool van Amsterdam.