

Inzicht in het proces

*Mevrouw de rector magnificus,
meneer de decaan,
leden van het curatorium,
bestuur van de stichting Nationaal Centrum voor Wetenschap en
Technologie/science center NEMO,
geachte belangstellenden,*

U bent een bont gezelschap: van universitair geschoold tot basisschoolleerling, van alfa tot bèta tot gamma, van jong tot oud, hier in de zaal aanwezig of elders in de wereld achter een monitor. Bovendien bent u gewend aan zeer verschillende vormen van informatieoverdracht: de één aan instructies via YouTube, de ander aan gedrukte handleidingen. De één prefereert een frontaal college, de ander zweert bij hands-on activiteiten. Aan mij de schone taak u, in vele variëteiten, het komend academisch uur inzicht te geven in het onderwerp van de leeropdracht, de *cognitieve ontwikkeling, in het bijzonder science leren in non-formele omgevingen*. En dat in een wel zeer formele omgeving, waar ik alleen spreek en u luistert en op uw stoel blijft zitten. Thuis, aan de eettafel, lukt dat zelden. Mijn verhaal impliceert dat het schier onmogelijk is u op deze manier een boodschap over te brengen. Als ik u desalniettemin tijdens deze zitting op enig moment aan het denken kan zetten, ben ik tevreden. Ik beloof u, na afloop wordt het hands-on.

Vanwege uw gevarieerde achtergrond en de nodige Engelse termen behoeft de titel wellicht enige uitleg. Cognitieve ontwikkeling gaat over de ontwikkeling van kennis, denken, geheugen en taal gedurende het hele leven, van babytijd naar volwassenheid. Science leren is het leren over wetenschap en techniek. Non-formele omgevingen zijn science centra en musea en deze worden onderscheiden van formele omgevingen, het basis- en voortgezet onderwijs, en van informele omgevingen, zoals thuis en op straat. In science centra is het meeste aanbod hands-on, nog een veelgebruikte Engelse term in mijn betoog. Het belangrijkste kenmerk van hands-on science aanbod is dat er actieve participatie is op een directe en praktische manier. Meestal betekent dit dat de bezoeker zelf kan experimenteren met het materiaal.

Om u enig idee te geven van science leren in non-formele omgevingen, wil ik beginnen met beelden uit science center NEMO, in de tentoonstelling van Kleuters aan Zet die in 2010 en 2011 te zien was (<http://www.e-nemo.nl/nl/bezoek/activiteiten/nemo-research-development/kleuters-aan-zet/>).

Kleuters aan Zet is een gezamenlijk project met NEMO in het kader van het onderzoeksprogramma TalentenKracht. Op het filmpje dat u zo zal laten zien, maakt Take van 5 jaar met zijn moeder een schaduw schilderij, naar een illustratie die voor hen ligt. Op deze illustratie staan twee even grote konijnen. Take heeft echter alleen een groot en een klein konijn tot zijn beschikking. Aan hem de taak de illustratie daarmee na te maken. Deze beelden heb ik niet gekozen om te illustreren hoe vertederend en grappig kinderen zijn, waar helaas optredens van kinderen op TV nogal eens toe beperkt blijven. Het interessante van dit fragment is Take's plotselinge inzicht dat een schaduw groter wordt naarmate het object verder van het scherm staat. Het moment van inzicht is een intense ervaring, ook als dat inzicht niet geheel correct is, vluchtig is of al door oneindig veel anderen is verkregen. Ook in die gevallen is het moment van zelf

verworven inzicht een bijzondere ervaring. Een mooie beschrijving van zo'n inzicht komt van de Malawiaanse tiener William Kamkwamba (http://www.ted.com/speakers/william_kamkwamba). Nadat hij op zijn veertiende van school gehaald was, bouwde hij met metaalresten, hout, een gebroken schokdemper en een kapotte fiets een windmolen en voorzag daarmee zijn ouderlijk huis van stroom. Als hij uiteindelijk een boek leest over elektromagneten, krijgt hij een plotseling inzicht, wat hij als volgt verwoordt:

"Ik kan je niet vertellen hoe opgewonden ik was. Ook al waren de woorden soms wat verwarrend voor me, de concepten die werden toegelicht door de tekeningen waren duidelijk en stonden me levendig voor de geest. (...) Het was alsof mijn geest al lang geleden ruimte had gemaakt voor die symbolen en toen ik ze in deze boeken ontdekte, vielen ze op hun plaats." [p. 184]

Overdracht van kennis is een primaire doelstelling van educatie, maar het plezier dat het moment van inzicht met zich meebrengt is een minstens zo belangrijk doel. Dit is een uitgangspunt van het Nationale onderzoeksprogramma TalentenKracht waarin mijn groep één van de participerende partijen is.

Wat ik zal beargumenteren is dat we met onderzoek naar science leren vooral moeten proberen *het leerproces* zelf te begrijpen. Het fascinerende van science leren is dat het betrekking heeft op twee werelden die bij elkaar komen in ieder mens: de alledaagse wereld waarover ieder mens impliciet leert (van vallende voorwerpen tot zinnen in de moedertaal) en de expliciete formele inzichten die onderwezen worden (van de gravitatiewet tot de grammatica van de Nederlandse taal).

Psychologisch onderzoek naar het leerproces kan ons meer vertellen over de interactie tussen impliciete en expliciete kennis. *Onderzoek naar het leerproces* genereert ideeën over de manier waarop het aanbod van wetenschap en techniek in science centra of op school optimaal ingericht kan worden.

Inzicht in het proces is mijns inziens ook een speerpunt voor science educatie. Vóórdat het gaat om het leren van de feiten en theorieën die de wetenschap heeft voortgebracht, is het voor de leerling, en dat zijn wij hopelijk allemaal nog wel eens, belangrijk te weten hoe wetenschappelijke kennis tot stand komt en hoe hij zelf op onderzoek uit kan gaan. Het onderzoekend leren kan de leerling sterk motiveren ervaringskennis en instructie te integreren en staat dan ook centraal in het non-formele leren.

De opdracht van mijn leerstoel is om op basis van de cognitieve ontwikkelingspsychologie, onderzoek te doen naar science leren en toepassingen uit te werken voor science educatie in non-formele omgevingen. Deze drie domeinen, cognitieve ontwikkeling, science leren en science educatie in non-formele omgevingen, zal ik achtereenvolgens bespreken tegen een historische achtergrond, om mijn eigen perspectief op science leren verder toe te lichten.

Cognitieve ontwikkeling

Een spelend kind in bad wordt geconfronteerd met de wetten der natuur en dat levert interessante taferelen op: Volgelopen bootjes zinken en zien er raar uit onder water. Drijven en zinken, breking van licht, de zwaartekracht, allemaal onderwerpen van *science leren* van het eerste uur.

U ziet hier historische foto's van kinderen die hun omgeving exploreren. Dit zijn typische situaties die volgens cognitief ontwikkelingspsychologen van de vorige eeuw, met name Jean Piaget, essentieel waren voor de kennisontwikkeling van het kind.

Het kind leert ten eerste van de regelmaat in de waarneming, waardoor het kan anticiperen op wat er gebeuren gaat. In de loop van het eerste jaar ontwikkelen kinderen verwachtingen, over bijvoorbeeld het vallen van voorwerpen. Dit wordt aangetoond in studies waarbij het kijkgedrag van kinderen gemeten wordt in verschillende situaties. Als kinderen een getrukte situatie te zien krijgen waarbij een voorwerp niet valt ondanks dat het van een tafel geduwd wordt, kijken zij langer dan naar andere, niet getrukte, situaties. Op deze zogenaamde *violation of expectation* experimenten is wel het één en ander af te dingen, maar het is onbetwist dat een kind al tijdens het eerste jaar verwachtingen opbouwt over de loop der dingen. Baby's hebben empirische kennis over de fysische werkelijkheid, de effecten van de zwaartekracht zo u wilt, maar zij kunnen deze nog niet verwoorden of er flexibel mee omgaan.

Het *science leren* gaat ook in de eerste levensjaren verder dan alleen het waarnemen van de omgeving. Het kind is niet alleen een passieve toeschouwer, maar exploreert de omgeving door te spelen. Het kind creëert vaak die observaties die informatief zijn gezien zijn eigen ideeën. Tessa van Schijndel heeft dit in haar studies laten zien voor 4- en 5-jarigen die spelen met een schaduwopstelling. Wetenschappers in de dop zou men kunnen zeggen.

Tot een dergelijke conclusie kwam prof. Rita Vuyk al in haar proefschrift in 1945. Prof. Vuyk was één van mijn illustere voorgangers in de vakgroep Ontwikkelingspsychologie van de UvA. In haar proefschrift stelt zij dat niet alleen de denkprestatie zelf onderzocht moet worden, maar vooral ook de wijze waarop een kind tot een denkprestatie komt. Zij concludeert vervolgens uit haar bevindingen dat een jong kind al beschikt over het geestelijk instrumentarium dat in principe nodig is voor hogere geestelijke arbeid en zelfs de voorwaarde vormt voor het wetenschappelijk denken. Dat is voor 1945 een opmerkelijke conclusie [Vuyk (1945) p.118].

Niet van al mijn illustere voorgangers was ontwikkelingspsychologie de primaire interesse. Voor enkelen betrof de interesse zeer abstracte onderwerpen zoals de logica en de kennisleer. Wat is de oorsprong van de logische regels van ons denken? Heeft de empirie ons geleerd dat als we weten dat *A en B beiden het geval zijn*, we ook weten dat *A het geval is*? Of is dit inzicht een aangeboren eigenschap van ons denksysteem? De enige manier om werkelijk inzicht te krijgen in het menselijk kennissysteem, is het bestuderen van het ontstaan van deze kennis.

In een boek van Jean Piaget en Evert Willem Beth uit 1966 beargumenteren zij dat *inzicht in het proces* van kennisverwerving essentieel is om het volwassen kennissysteem, en zelfs de basis van de logica te doorgronden. Piaget en Beth concluderen samen [citatie Piaget & Beth, p. 311, vertaling MR]:

“Als de logicus weten wil hoe logische structuren opgebouwd zijn, dan kan de psychologie hem alleen een bijdrage bieden als zij voldoet aan twee condities: a) zij moet gaan over de constructie zelf, b) zij moet gaan over de oorsprong en de ontwikkeling. Alleen dan kunnen we verder gaan dan slechts een beschrijving van de cognitieve activiteit om een inventarisatie te krijgen van de cognitieve vaardigheden van het epistemisch subject.”

Niet alleen de empirie en ook niet alleen de aangeboren denkvermogens verklaren ons kennissysteem. Alleen uit de constructie van de kennis kan het denkvermogen

begrepen worden. Het constructivistische model wordt door psychologiestudenten wellicht geleerd als een historisch idee, en de citaties naar Piaget zijn zeker niet altijd positief geweest, maar mijns inziens is het constructivistische gedachtegoed nog steeds volledig actueel.

Een mooi interdisciplinair voorbeeld, in de traditie van Piaget en Beth, is een recente samenwerking met het Institute for Logic, Language & Computation, met Nina Gierasimczuk en prof. Han van der Maas, waarin logica, pedagogiek en psychologie samenkwamen. Samen hebben we de bloemencode ontwikkeld, een variant op het welbekende *Mastermind* spel, waarmee het deductief redeneren getraind kan worden. Dit spel hebben we geplaatst in de Rekentuin, waar duizenden kinderen meer dan een miljoen bloemencodepuzzels hebben opgelost (www.youtube.com/watch?v=KCB8tSdp1gM).

Een logische analyse van de taak met de zogenaamde analytische tableaux van Beth geeft ons een idee over de elementen van de bloemencodepuzzels die het redeneren moeilijk maken. Met de data van de duizenden kinderen, kunnen we deze theoretische analyse ook toetsen. Momenteel ontwikkelen we didactische methoden om op de basisschool te discussiëren over logisch redeneren, wat ook voor leerkrachten geen makkelijk onderwerp is. Dit is een voorbeeld van de manier waarop interdisciplinaire samenwerking kan leiden tot beter inzicht, in dit geval in het redeneren van kinderen. Brein en Cognitie, een zwaartepunt van de UvA waarin wij participeren met onderzoek naar leerprocessen van baby's, omvat vele verrassende interdisciplinaire samenwerkingen.

De individuele verschillen in het conceptuele begrip van wetenschappelijke onderwerpen, zijn opvallend groot. De slimste 12-jarigen overtreffen vaak vele volwassenen. Hetzelfde zien we bij 6-jarigen in vergelijking met 12-jarigen. Het gevolg is dat we binnen elke leeftijdsgroep, van baby's tot volwassenen, belangrijke, kwalitatieve verschillen in gedrag en begrip zien. In veel onderzoek naar de cognitieve ontwikkeling is het gangbaar leeftijdsgroepen met elkaar te vergelijken om te bepalen wat er verandert. Maar om inzicht te krijgen in het denkproces van het individuele kind moeten de verschillende ideeën en strategieën onderscheiden worden. Het middelen van de prestaties binnen een leeftijdsgroep kan de resultaten ernstig vertekenen en tot ronduit foutieve conclusies leiden, zoals we ook in eigen onderzoek ondervonden hebben. Dit is belangrijk voor de ontwikkelingspsychologie waar we per definitie met grote verschillen tussen individuen te maken hebben. Maar dit geldt even goed voor onderzoek bij volwassenen en in geheel andere domeinen, zoals het impliciet leren. Men moet bedacht zijn op strategieverschillen als men inzicht wil in het proces.

Nog een laatste belangrijke methodologische kanttekening bij de vergelijking tussen leeftijdsgroepen is domein specifieke theorievorming. Een unieke bijdrage van Piaget aan de cognitieve ontwikkelingspsychologie is theorievorming over de ontwikkeling vanaf de babyperiode tot en met de volwassenheid. De huidige theorievorming in de ontwikkelingspsychologie, een paar uitzonderingen daargelaten, beperkt zich tot een specifieke leeftijdsgroep, baby's of peuters of kinderen. Het grote voordeel daarvan is dat de onderzoeksparadigma's tussen leeftijdsgroepen niet vergelijkbaar hoeven te zijn. Het grote nadeel is dat de conclusies over verschillende leeftijdsgroepen ook niet vergelijkbaar zijn. Maar domein specifieke theorievorming leidt tot vreemde inconsistenties. Onderzoekers concluderen dat peuters causaal kunnen redeneren, terwijl psychologiestudenten correlaties vaak foutief interpreteren als causale relaties. Ik chargeer hier enigszins, maar het illustreert hoe moeilijk het is verschillende leeftijdsgroepen te vergelijken als de paradigma's sterk van elkaar

verschillen. Uiteindelijk zullen we toch terug moeten naar Piaget's originele doelstelling, een cognitieve ontwikkelingspsychologie van jong tot oud.

Voor heel veel onderwerpen is het formuleren van een model voor de gehele levensloop een enorme uitdaging. Niet in de laatste plaats voor het science leren. Waarmee ik cognitieve ontwikkelingspsychologie als eerste onderwerp van deze oratie wil afsluiten om over te gaan naar het tweede onderwerp, *science leren*.

Science leren

De voor de hand liggende vraag is nu hoe we voor het science leren een life long perspectief kunnen ontwikkelen. Om te begrijpen hoe het science leren enthousiasmerend, uitdagend en efficiënt kan zijn, moeten we inzicht krijgen in het proces van verwerking van nieuwe observaties en begrijpen hoe nieuwe kennis aanzet tot exploratie en nieuwsgierigheid. Een beter inzicht in *het proces van science leren* geeft ons de mogelijkheid de leeromgeving beter in te richten.

De aspecten waar wij tot nu toe het meeste onderzoek naar hebben gedaan zijn kennisverwerving en exploratie. Het theoretisch perspectief dat ik wil uitwerken, is gebaseerd op het onderscheid tussen impliciete kennis en expliciete kennis, en ook tussen het impliciete leren en het expliciete leren. Dit perspectief wordt momenteel overigens in vele vakgebieden toegepast, zoals in het verslavingsonderzoek en in het creativiteitsonderzoek. Impliciete kennis is kennis waarvan men zich niet bewust is en die niet volledig verwoord kan worden. Deze kennis kan wel toegepast worden. Een duidelijk voorbeeld is kennis van de taal. Vijfjarige kinderen hebben enorm veel kennis van hun moedertaal die ze gebruiken om correcte zinnen te vormen, echter zonder dat ze de regels van de grammatica kunnen verwoorden.

Naast impliciete kennis bestaat er ook expliciete kennis. Deze kennis kan wel verwoord worden. Bijvoorbeeld grammatica zoals die op school geleerd wordt, is kennis over de taal verwoord in expliciete regels. In het wetenschappelijk onderzoek naar categorie-leren zijn veel studies verricht naar de verwerving van expliciete en impliciete kennis. We weten daaruit bijvoorbeeld dat er verschillende hersengebieden betrokken zijn bij deze verschillende leerprocessen, dat men voorspellingen kan maken op basis van impliciete kennis, en dat impliciet leren zich veel vroeger ontwikkelt dan het expliciete leren. Wat we echter nog niet goed weten is hoe de interactie tussen impliciete kennis en expliciete kennis het leren en het oplossen van problemen beïnvloedt.

Het fascinerende aan science leren is dat het gerelateerd is aan fenomenen die ons omringen vanaf de vroege babytijd. Zwaartekracht is een goed voorbeeld. Omdat een baby steeds weer observeert en ervaart hoe alles naar beneden valt, kan een baby al in haar eerste jaar anticiperen op blokken die gaan vallen en ballen die rollen. Dit is kennis die geleerd wordt op basis van ervaring en die een belangrijke rol speelt in het dagelijks leven. Desalniettemin is deze kennis grotendeels impliciet en kan deze door jonge kinderen niet verwoord worden. Later, als kinderen formeel onderwijs krijgen over zwaartekracht of wellicht over zwaartekracht leren in een science center, zullen ze ook expliciete kennis over zwaartekracht verwerven. De interactie tussen de impliciete kennis en de expliciete kennis speelt een cruciale rol in het proces van *science leren*.

Een eerste observatie vanuit bovengenoemd leerperspectief is dat mensen vaak vanwege hun impliciete kennis geen oog hebben voor de uitzonderlijkheid van een wetenschappelijk fenomeen. Een zeer belangrijke drijfveer om ergens aandacht aan te schenken is nieuwigheid. Vallende blokken, vanuit een expliciet perspectief interessant,

zijn niet zo spannend meer als je een jaar of 6 bent. Maar als we iets zien dat tegen onze verwachtingen in gaat, trekt het direct onze aandacht. Zo blijven de beelden van een zwevende André Kuipers in de ruimte uiterst fascinerend en een zeer geschikt onderwerp voor science educatie, wat wel blijkt uit het succes van het door Nemo gecoördineerde educatieve programma “Ruimteschip Aarde”

Maar ook het dagelijks leven zit vol wonderbaarlijke regelmatigheden die bijna niemand meer opmerkt. Waarom, vroeg Tau van 5 jaar, is het zo dat je zegt “1 nacht, 2 nachten, maar ook 0 nachten?” Ik paraphraseer het voor haar: “Waarom gebruiken we een meervoudsvorm bij het telwoord nul?” Zo zit de wereld vol met wonderbaarlijke vanzelfsprekendheden, die je alleen maar hoeft te herkennen om je te laten fascineren.

Een tweede observatie is dat de informatie over wetenschappelijke onderwerpen van vele bronnen afkomstig is en dat daardoor verschillende typen kennis kunnen ontstaan. Kinderen hebben bijvoorbeeld verschillende naïeve theorieën over prenatale ontwikkeling. De persoonlijke ervaring van kinderen dat ze naarmate ze ouder worden, alleen groeien en niet structureel veranderen, leidt er waarschijnlijk toe dat jonge kinderen ook zo over prenatale ontwikkeling denken. (Dit ziet u geïllustreerd in de linker kolom). Maar, met meer informatie over de wereld wordt ook de theorie complexer. Volgens een andere naïeve theorie groeien tijdens de prenatale ontwikkeling lichaamsdelen, zoals armen, uit het lichaam (Dit ziet u geïllustreerd in de middelste kolom). Deze naïeve theorieën zijn een populair onderzoeksonderwerp in zowel de ontwikkelingspsychologie als in de science educatie, ook bekend onder de namen mentale modellen en misconcepties. Naïeve theorieën lijken het leren van wetenschappelijke theorieën soms in de weg te zitten.

De indruk bestaat dat alles over naïeve theorieën nu wel onderzocht is. Echter, het meeste onderzoek naar naïeve theorieën heeft weinig theoretische basis en is methodologisch zeer zwak met onbetrouwbare resultaten als gevolg. Interviews en tekeningen worden geïnterpreteerd als waren het afspiegelingen van de aanwezige kennis. Daarbij wordt aangenomen dat achterliggende kennis coherent is en geen onsamenhangende verzameling van feiten kan zijn. Beide assumpties, over de validiteit en de coherentie van de data, moeten correct statistisch getoetst worden en dat wordt zelden gedaan.

In ons onderzoek en dat van anderen, zien we dat de verklaringen van kinderen slecht samenhangen met hun non-verbale voorspellingen. Als een kind coherente, expliciete kennis heeft zal ze die kennis wellicht kunnen rapporteren. Maar wat een kind rapporteert, is niet zonder meer een weergave van coherente, expliciete kennis. Overigens kennen we dit fenomeen maar al te goed uit het geheugenonderzoek naar getuigenverklaringen.

Mijn onderzoeksagenda, mede gefinancierd door het eerder genoemde TalentenKrachtprogramma, zal deels worden bepaald door deze lijn van onderzoek waarin we met objectieve methoden de aard van de naïeve theorieën van kinderen en volwassenen vaststellen en per science domain het ontwikkelingsproces nader bepalen. De interactie tussen impliciet en expliciet leren zal daarin centraal staan.

Science educatie in non-formele omgevingen

Daarmee zijn we aangekomen bij het laatste onderwerp, de science educatie in non-formele omgevingen. Non-formele omgevingen, zoals science center NEMO, spelen een belangrijke rol in het interesseren van een breed publiek voor wetenschap en technologie. Wetenschap en technologie zijn essentieel voor de huidige maatschappij en

ons dagelijks leven. Daarom is het van groot belang dat een brede groep mensen goed geïnformeerd mee kan praten over nieuwe wetenschappelijke ontwikkelingen.

In de Europese plannen voor 2010-2020, de zogenaamde Lissabon-strategie, staat dan ook nadrukkelijk het belang van een breed gedragen interesse in wetenschap en technologie. Algemene belangstelling voor zulke onderwerpen zal naar verwachting bijdragen aan een toenemende instroom van studenten in het bèta- en techniek-onderwijs, wat noodzakelijk is voor een economie gebaseerd op kennis en innovatie.

NEMO is vooral bekend om haar tentoonstellingen met jaarlijks een half miljoen bezoekers. Maar daarnaast levert het science learning center van NEMO een belangrijke bijdrage aan de science educatie in het primair en voortgezet onderwijs. NEMO ontwikkelt innovatieve methoden voor inspirerende projecten en biedt met opstellingen, workshops en science shows een fantastische leeromgeving. De activiteiten die NEMO ontwikkelt zijn zoveel mogelijk hands-on, zodat de bezoeker, de leerling én de leerkracht, zelf kunnen experimenteren. Op basis van het onderzoek naar individuele verschillen zou ik willen pleiten voor een life long learning perspectief, waarin meer rekening gehouden wordt met verschillen tussen individuen dan met leeftijdsverschillen. Het adaptief maken van een tentoonstelling of een exhibit aan de kennis en vaardigheden van het individu, is echter nog een grote uitdaging.

Een belangrijke inspirator in de geschiedenis van de hands-on science educatie is Frank Oppenheimer. Zijn biografie, geschreven door K.C. Cole, beschrijft zijn fascinatie voor de wetenschap. Het boek pleit voor het hands-on science leren tegen de achtergrond van de na-oorlogse geschiedenis van de Verenigde Staten. Tijdens de tweede wereldoorlog was Frank Oppenheimer als natuurkundige betrokken bij de ontwikkeling van de atoombom, onder leiding van zijn broer Robert Oppenheimer. Hij raakte ervan overtuigd dat wetenschappelijke kennis, hoe complex ook, gedeeld moet worden met het grote publiek en dat wetenschappers daarin een belangrijke verantwoordelijkheid hebben. De Amerikaanse regering verbande hem van de universiteiten en sloot hem uit van natuurkundig onderzoek. Uiteindelijk raakte hij betrokken bij natuurkundeonderwijs op alle niveaus en ontwikkelde hij het concept hands-on science educatie. In 1969 richt hij het Exploratorium in San Francisco op, *een interactief museum voor kunst, science en menselijke perceptie*.

Frank Oppenheimer wilde zijn eigen grenzeloze nieuwsgierigheid en fascinatie voor de wondere wereld van de natuur, overbrengen op een breed publiek. Niet in de eerste plaats om de juiste theorieën te onderwijzen, maar vooral om te laten zien hoe wonderbaarlijk de wereld om ons heen in elkaar zit en hoeveel plezier en inzicht hands-on experimenteren kan opleveren. Deze uitgangspunten vormen nog steeds de basisgedachte van vele science centra. Het onderzoekend en ontwerpend leren, oftewel *inquiry learning*, is momenteel het best ontwikkelde uitgangspunt voor science educatie in formele en non-formele context. In NEMO bijvoorbeeld zijn activiteiten opgezet volgens het schema *doen, verwondering, uitleg*. Overigens sluit deze gedachte helemaal aan bij de ideeën van constructivistische ontwikkelingspsychologen zoals Piaget.

Maar hoe intrigerend ook, met hands-on activiteiten zijn we er nog niet. Het blijkt heel moeilijk een *hands-on* activiteit zo in te richten dat deze aanzet tot dieper nadenken, tot echte inzichten en een onderzoekende houding. Daarvoor is goede begeleiding nodig, gebaseerd op diep inzicht in het onderwerp. Juist een goede begeleiding is vaak een probleem voor bijvoorbeeld leerkrachten in het primair onderwijs. Zij staan voor de moeilijke taak het science leren zo in te richten dat de activiteiten aansluiten bij de relevante kennis van elk kind. Dit is een oud idee, bijvoorbeeld uitgedrukt door Vygotski als de zone van naaste ontwikkeling. Als de

activiteiten niet direct relevant zijn voor het kennisniveau van het individu, levert het onderzoekend leren hooguit losse feitjes op en geen echte inzichten.

Er zijn ten minste twee problemen bij het afstemmen van een activiteit op een individu. Ten eerste de al besproken verschillen in kennis tussen individuen, ook binnen één leeftijdsgroep. Ten tweede heeft het individu zelf lang niet altijd goed inzicht in zijn kennis. De kennis over een specifiek onderwerp zoals schaduwgrootte of de zwaartekracht, is immers deels impliciet. Dit betekent dat een individu niet zonder meer kan rapporteren wat het wel en niet begrijpt. We willen deze moeilijkheden op drie manieren ondervangen.

Ten eerste willen we beter begrijpen hoe de kennis van mensen over specifieke onderwerpen is opgebouwd. Wat zijn de algemene principes van waaruit mensen denken? Wat zijn de meest voorkomende naïeve theorieën en wat zijn de losse feitjes? En in welke context wordt welke kennis aangesproken? Inzicht in de resultaten van dit onderzoek kan de ontwerper helpen een activiteit in te richten en de leerkracht helpen in te spelen op de voorkennis van haar leerlingen. We willen daartoe praktisch bruikbare instrumenten ontwikkelen.

Ten tweede zullen we proberen methoden te ontwikkelen waarmee een bezoeker of leerling zelf kan achterhalen wat zij begrijpt van een specifiek onderwerp. Deze methoden moeten rekening houden met het feit dat veel kennis impliciet is. Het doel is dat een individu zijn kennis expliciet maakt en op een punt komt dat hij denkt: "Hoe zit dat eigenlijk?" Deze vraag zou vervolgens voor dit individu een goed uitgangspunt kunnen zijn om te gaan experimenteren.

Het experimenteren zelf is een derde onderwerp van ons onderzoek dat een directe toepassing heeft in science educatie. Kinderen hebben al op zeer jonge leeftijd de neiging om in hun vrije spel gericht te experimenteren, maar niet om eigen ideeën op de proef te stellen. Alhoewel bekend is dat volwassenen ook deze voorkeur voor verificatie hebben, bestaan er belangrijke verschillen tussen kinderen en volwassenen. We willen met onderzoek principes blootleggen waarmee we individuen kunnen uitdagen meer en betere experimenten uit te voeren dan ze normaliter zouden doen.

Laat ik u tot slot een voorbeeld geven van hoe resultaten uit onderzoek meegespeeld hebben in het maken van de tentoonstelling Kleuters aan Zet in NEMO. De tentoonstelling was opgesteld in een afgesloten ruimte en alleen toegankelijk voor kleuters met een volwassene. Het filmpje dat ik u eerder liet zien, toont het schaduw schilderij waar kleuters én ouders (!) oa kunnen ontdekken hoe de grootte van een schaduw samenhangt met de grootte van het object en de afstand van het object tot het scherm en de lamp. Uit onderzoek weten we dat mensen, zo ook kleuters, specifieke ideeën hebben over deze relatie. Bijvoorbeeld dat alleen de grootte van het object de grootte van de schaduw bepaalt; of dat de schaduw groter wordt naarmate het object dichterbij het scherm staat. Mensen hebben dus naïeve theorieën over schaduwgrootte.

Wat we ook uit onderzoek weten is dat mensen meer én beter gaan experimenteren als ze onverwachte observaties doen, als de uitkomst van een experiment anders is dan ze verwacht hadden.

Het schaduw schilderij vraagt de kinderen een plaatje na te maken waarbij de afstand van twee muisjes tot het scherm gevarieerd moet worden. Veel kinderen komen in deze opstelling noodgedwongen een situatie tegen waarin de uitkomst van hun experiment anders is dan ze hadden verwacht. Om het plaatje na te maken moeten de kinderen andere experimenten uitvoeren dan ze normaliter zouden doen. De volwassene die samen met het kind gaat experimenteren zorgt voor de nodige focus. Het

schaduw schilderij ontlokt inderdaad langdurig exploratief spel van hoog niveau, zoals uit ons veldonderzoek blijkt.

Een nieuw project dat we met NEMO voorbereiden is een test-lab met kleinschalige, eenvoudige opstellingen waarin bezoekers zelf kunnen ontdekken hoe iets werkt, bijvoorbeeld elektrische schakelingen. Dit is oorspronkelijk een idee van de Learning Studio in het Exploratorium. We willen dit idee uitbreiden met methoden om bezoekers te stimuleren hun ideeën te verwoorden en te delen met anderen. Bijvoorbeeld door ze filmpjes te laten maken waarin ze hun experimentjes uitleggen, zoals het filmpje over de bloemencode. Binnen zo'n test-lab kunnen bezoekers experimenteren met alledaagse wetenschappelijke verschijnselen, kunnen studenten eenvoudige experimenten uitvoeren en kunnen publieksbegeleiders er hun vaardigheden trainen. Dit wordt een experiment in zichzelf en is één van de dingen die we de komende jaren willen ontwikkelen vanuit de samenwerking tussen science center NEMO en Ontwikkelingspsychologie, in aansluiting op het TalentenKrachtproject.

Hiermee ben ik aan het einde gekomen van het derde onderwerp: *science educatie in non-formele omgevingen*.

Afsluiting

Met dit verhaal heb ik u mijn perspectief op *cognitieve ontwikkeling, in het bijzonder science leren in non-formele omgevingen* willen schetsen.

Samenvattend ben ik op zoek naar een interdisciplinair geworteld model van de cognitieve ontwikkeling dat ons inzicht geeft in het proces van science leren in alle fases van de ontwikkeling. Mijn uitgangspunt is een model waarin de interactie tussen impliciete en expliciete leervormen een belangrijke rol speelt in de ontwikkeling van eenvoudige naïeve theorieën tot correcte expliciete wetenschappelijke kennis. Voor de optimale, op het individu afgestemde begeleiding van *hands-on* experimenteren, wil ik ideeën en praktische instrumenten ontwikkelen die voortkomen uit wetenschappelijk inzicht in het proces van science leren. Mijn doel is het individu te fascineren voor wetenschap en techniek, door hands-on ervaring te bieden met de verwerving van abstract inzicht in de wereld om ons heen.

Dankwoord

Dat ik hier nu sta is het werk van velen die een essentiële bijdrage hebben geleverd aan het creëren van deze positie, aan de ondersteuning van het vakgebied, aan de ontwikkeling van de Amsterdamse onderzoeksgroep en aan mijn persoonlijke ontwikkeling.

Ik dank het college van bestuur en met name de rector, prof. Dymph van den Boom voor het mogelijk maken van dit bijzonder hoogleraarschap. Ook in informele context heeft haar belangstelling mij gestimuleerd.

De afdeling Psychologie en de Faculteit Maatschappij- en Gedragwetenschappen dank ik voor het vertrouwen dat zij in mij hebben uitgesproken. Het initiatief voor dit bijzonder hoogleraarschap komt van prof. Maurits van der Molen. Ik ben hem zeer dankbaar voor zijn inzet voor de cognitieve ontwikkelingspsychologie als onderzoeksgebied in Amsterdam.

Mijn grote dank gaat uit naar de stichting NCWT/NEMO. Met name Amito Haarhuis heeft met verve gepleit voor de totstandkoming van deze positie. Leo van den Bogaert, Amito Haarhuis en Marjolein van Breemen dank ik voor al hun inspanningen om de

integratie met NEMO en het Science Learning Center te bewerkstelligen. In de directie, en in de raad van toezicht onder voorzitterschap van prof. Annemieke Roobeek, bewonder ik de geboden steun voor het toegepaste én fundamentele onderzoek naar science leren.

Deze openheid van geest binnen NEMO wordt het best geïllustreerd door Rooske Franse. Zij is de bruggenbouwer en de grote motor achter de tentoonstelling Kleuters aan Zet.

De samenwerking tussen ontwikkelingspsychologie en NEMO is begonnen met TalentenKracht, een onderzoeksprogramma van zeven universiteiten met de even belangrijke als prachtige doelstelling om de onderzoekende houding van basisschoolkinderen in kaart te brengen én te stimuleren. Dank aan Jan de Lange, Johan van Benthem en Robbert Dijkgraaf die als initiatiefnemers enorm veel werk verzet hebben om steun te krijgen voor TalentenKracht van het ministerie van onderwijs, cultuur en wetenschappen. Mijn dank ook aan Platform Bèta-techniek en aan mijn collega onderzoekers voor het gestelde vertrouwen in deze unieke onderneming. Ook wil ik het expertisecentrum voor wetenschap en techniek, de PABO's en de scholen bedanken, voor het netwerk en alle ervaringskennis.

Voor mijn wetenschappelijke ontwikkeling dank ik mijn promotor prof. Peter Molenaar voor zijn immer originele ideeën die hij bij mij geplant heeft, waarin methoden en technieken gekruist worden met inhoudelijke vragen.

Ik ben vooral veel dank verschuldigd aan iedereen in de onderzoeksgroep in Amsterdam die heeft bijgedragen aan het hier besproken onderzoek: Verena, Ingmar, Tessa, die kort geleden het eerste TalentenKracht proefschrift verdedigde, Bianca, Dorothy, Sara, Marian en Nina. Ook veel dank voor de ondersteuning intern van eerder Atie en nu Ellen en Eveline, en extern van Riky en Henk. Daarnaast zijn er vele collega's van de CODE-P groep, van de programmagroep, van Rekentuin, van het zwaartepunt, binnen Nederland en daarbuiten die ik dank voor de stimulerende samenwerking. Eveline Crone wil ik met name noemen voor haar gastvrijheid en haar belangstelling voor nieuwe ideeën.

Mijn familie in al haar uitgebreidheid, baant de weg vrij naar dit leven waarin ik werk, passie en liefde kan combineren. De grenzeloze warmte, het intellectuele plezier en de enorme loyaliteit bieden een heerlijke omgeving om op te groeien en zelf weer kinderen groot te brengen.

Mijn vader en architect Hans Raijmakers, nam me al vroeg mee naar de bouwplaats en liet me zo kennismaken met techniek. Hij liet me de schoonheid ervaren van iets dat zo goed in elkaar zit dat alles klopt.

Mijn moeder Det Bazelmans, is de homo ludens zelve. Haar grenzeloze nieuwsgierigheid en creatieve krachten krijgen iedereen aan het spelen. Zij maakte al vanaf de Commodore 64, kunst en techniek vanzelfsprekende elementen van mijn leven.

Het is een groot genoegen om zoveel met Han te delen: Grote en kleine ideeën, van de genetische algoritmen op de Atari, tot de raadsels aan de eettafel.

Met Luko, Iva en Tau komen alle mooie dingen van het leven samen.

U mag gaan doen.

Ik heb gezegd.