

MAKKELIJKER KUNNEN WE HET NIET MAKEN, WEL LEUKER

Prof. dr. Ch. G. van Weert



MAKKELIJKER KUNNEN WE HET NIET MAKEN, WEL LEUKER

REFLECTIES OVER ONDERWIJS EN LEREN VAN DE NATUURVAKKEN EN WISKUNDE

Rede uitgesproken ter gelegenheid van het afscheid
als hoogleraar Basisonderwijs Natuurkunde aan de
Faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica
op woensdag 25 april 2007 door Ch.G. van Weert

DE BÈTAOPLEIDINGEN AAN DE NEDERLANDSE UNIVERSITEITEN EN HOGESCHOLEN ZOEKEN MEER INSTROOM VAN LEERLINGEN DIE EEN BÈTATECHNISCHE OPLEIDING AMBIËREN. UITEINDELIJK GAAT HET DAARBIJ OM DE KEUZE VAN LEERLINGEN IN HET VOORTGEZET ONDERWIJS. WELKE MOGELIJKHEDEN HEBBEN UNIVERSITEITEN OM DIE TE BEÏNVLOEDEN? TEN EERSTE NATUURLIJK HET BIEDEN VAN GOEDE EN INTERESSANTE OPLEIDINGEN MET TOEKOMST. MAAR OP LANGERE TERMIJN IS EEN NIEUWE IMPULS GEVEN AAN DE LERARENOPLEIDING IN DE BÈTAVAKKEN DE BELANGRIJKSTE BIJDRAGE DIE UNIVERSITEITEN EN HOGESCHOLEN KUNNEN GEVEN. DIE MOET TOT DOEL HEBBEN DE RELATIE MET DE DISCIPLINE TE VERSTERKEN, ZOWEL TIJDENS ALS NA DE OPLEIDING. IN TEGENSTELLING TOT DE ONDERWIJSFILOSOFIE VAN HET 'LEREN LEREN' BLIJKT IN DE BÈTAVAKKEN DE INHOUDELIJKE KENNIS VAN ZAKEN VAN DE LERAREN ER WEZENLIJK TOE TE DOEN. HET ZOU GOED ZIJN ALS LERAREN DAARVOOR EEN EIGEN PROFESSIONELE STANDAARD Zouden ONTWIKKELLEN.

CHRIS VAN WEERT (1942) STUDEERDE THEORETISCHE NATUURKUNDE AAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM EN PROMOVEERDE CUM LAUDE IN 1970. VANAF JULI 1991 WAS HIJ HOOGLERAAR BASISONDERWIJS NATUURKUNDE.

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Als titel voor mijn afscheidscollege heb ik gekozen *Makkelijker kunnen we het niet maken, wel leuker*. Naar mijn mening is dat de richting waarin het onderwijs in de exacte vakken, de natuurkunde in het bijzonder, zich de komende jaren zal moeten ontwikkelen om een grotere groep leerlingen en studenten aan te spreken. Leuker maken is synoniem met ‘opleuken’, een woord dat voor H.A. Hofland de negatieve bijbetekenis heeft gekregen van niet ter zake doende poespas en tierelantijnen. Mijn synoniem van ‘leuker maken’ is ‘motiveren’, en het eerste zinsdeel van mijn titel mag u opvatten als een parafrase van een bekende uitspraak van Albert Einstein: ‘Everything should be made as simple as possible, but not simpler’¹.

‘Natuurkunde is niet moeilijk, het is alleen vreemd’, stelt de Leidse sterrenkundige en theoretisch natuurkundige Vincent Icke in zijn boek *The Force of Symmetry*², met daarin een uitleg van de moderne theorieën over krachten en deeltjes. Het is een prachtige titel en een prachtig boek, maar zijn uitspraak ‘Natuurkunde is niet moeilijk’, daar zullen maar weinig middelbare scholieren en studenten het mee eens zijn. Bijna iedereen ervaart natuurkunde als een moeilijk vak. Het vereist een inzicht en een rekenvermogen dat niet iedereen komt aanwaaien. Veel natuurkundigen zullen dit beamen: natuurkunde is niet makkelijk en iemand die het tegendeel beweert weet niet waar hij het over heeft, of is niet eerlijk. Ik zal dat tegendeel dan ook niet beweren.

WAAROM IS NATUURKUNDE MOEILIK?

Maar wat betekent die uitspraak ‘Natuurkunde is moeilijk’ eigenlijk? Waarom vinden veel leerlingen op de middelbare school natuurkunde een moeilijk vak (‘Daar ben ik echt niet goed in.’) en nog saai ook? Daarvoor zijn ten minste drie redenen aan te wijzen: het gebruik van wiskunde, het taalgebruik, en gebrek aan motivatie (‘Al die formules en berekeningen: waar is dat goed voor?’).

1. *Wiskunde*

Een voor de hand liggende reden waarom natuurkunde moeilijk is, is de wiskunde. Natuurkunde maakt omstandig gebruik van wiskunde, en iedereen weet dat wiskunde moeilijk is, Q.E.D. Het valt niet te ontkennen: in de beoefening van de natuurkunde speelt de wiskunde een essentiële rol. Het is een wezenlijk kenmerk van de natuurkunde dat de belangrijkste grondbeginselen een wiskundige vorm hebben. De kracht van de wiskunde in de natuurkunde is dat abstracte redeneringen en principes, zoals symmetrie, kunnen leiden tot diepe inzichten met grote reikwijdte. Dit is een van de fascinerende kenmerken van de natuurkunde.

De wiskundige aard van de natuurkunde is voor leerlingen op de middelbare school vaak problematisch, en ook beginnende studenten vinden de wiskunde die nodig is om de opgaven te maken vaak lastig. Veel leerlingen en studenten hebben moeite om concepten en formules in verband te brengen met de waarneembare wereld en zien formules als rekenvoorschriften. Het gevolg is dat een deel van de leerlingen de natuurkundelessen moeilijk vindt, en ook het nut ervan niet inziet. Toch is het geen oplossing om de natuurkunde te ontdoen van wiskundige inhoud, al was het maar vanwege het feit dat onderwerpen die vaak de interesse van leerlingen wekken, zoals kosmologie en

deeltjesfysica, juist het meest wiskundig van aard zijn. Bovendien maakt de wiskunde door de duidelijke regels veel natuurkundige redeneringen eerder eenvoudiger dan moeilijker.

Het beheersen van elementaire wiskundige inzichten en vaardigheden is voor leerlingen in het voortgezet onderwijs een essentiële voorwaarde voor het succesvol volgen van een van de N-profielen en voor een goede aansluiting met de vervolgstudies. Het gaat dan om algebraïsche vaardigheden, inzicht in de betekenis van de vorm van een grafiek, het omzetten van kwalitatieve verbanden in kwantitatieve wiskundige vergelijkingen, en het vermogen om modellen te ontwikkelen die een verklaring kunnen geven voor fysische verschijnselen. Voor veel van de diepere natuurkundige concepten geldt dat er een wiskundige abstractie aan ten grondslag ligt die leerlingen en studenten op een of ander manier moeten leren hanteren. Hoe, daar kom ik later op terug.

2. *Valkuil van het dagelijkse taalgebruik*

In de natuurkunde worden veel woorden gebruikt zoals ‘energie’, ‘kracht’, ‘veld’, die in het dagelijkse spraakgebruik al een betekenis hebben. In zijn boekje *Krachten* dat Vincent Icke voor de wetenschapweek 2005 schreef³, noemt hij dat een ramp omdat in de dagelijkse taal zulke woorden van alles kunnen beduiden. Een voorbeeld dat Icke bespreekt is het woord ‘energie’. ‘In de omgangstaal heeft dit woord niet echt een enkelvoudige betekenis, maar het is - zoals alle natuurlijke woorden - meer een soort dichterlijke wolk. Het woord “energie” is een nevel die rondkolkt rondom andere woorden zoals “activiteit”, “leven”, “voedsel” en “kracht”. Maar in de natuurkunde heeft het woord “energie” een enkele betekenis.’ Zelfs nog sterker, het begrip energie overkoepelt andere begrippen,

want uit natuurkundig onderzoek van de laatste twee eeuwen is gebleken dat energie, warmte en massa drie verschillende woorden zijn voor één enkel fysisch begrip met een grote mate van abstractie. Het is verwarrend om in natuurkundeboeken abstracte termen en begrippen tegen te komen die al een associatie hebben in de spreektaal. Veel begripsproblemen in de natuurkunde zijn hierop te herleiden. Een ander voorbeeld is het begrip stroom. Elektrische stroom is behouden in de rondgang door een circuit; het is de energie die wordt verbruikt, of liever gezegd omgezet. Het ingeburgerde woord ‘stroomverbruik’ geeft dus een verkeerde associatie.

3. *Motivatie*

In de derde klas havo en vwo moeten leerlingen kiezen uit vier profielen; twee maatschappijprofielen: Cultuur en Maatschappij (CM) en Economie en Maatschappij (EM), en twee natuurprofielen: Natuur en Gezondheid (NG) en Natuur en Techniek (NT). In dit laatste profiel is natuurkunde een verplicht profielvak. Dat was tot nu toe ook het geval voor het profiel Natuur en Gezondheid. Echter met ingang van augustus aanstaande is natuurkunde gedegradeerd tot een profielkeuzevak in dat profiel, naast de profielvakken wiskunde, scheikunde en biologie die wèl verplicht zijn. Daar staat tegenover dat vrijwel alle medische en biologische opleidingen natuurkunde eisen, en dat het nieuwe keuzeprofielvak natuurkunde een omvang heeft van 480 uur tegenover 360 uur nu. In het profiel Natuur en Techniek zijn wiskunde, natuurkunde en scheikunde de verplichte profielvakken, maar wel is het is het aantal uren natuurkunde in het profiel Natuur en Techniek verminderd van 560 uur naar 480 uur. Dat leed deelt de natuurkunde overigens met de andere bètavakken, want in totaal is het aantal lessen behoorlijk omlaag gegaan. Over deze droefenis is de afgelopen jaren veel geschreven en gezegd, maar per augustus aanstaande is het een feit.

Laat ik het echter hebben over de vraag wat de motivatie van leerlingen is om in de derde klas voor een Natuurprofiel te kiezen. In cijfers is de verdeling over de profielen als volgt:⁴

Profielkeuze eindexamenkandidaten havo 2005

Profiel	Jongens %	Meisjes %
Natuur en Techniek	17,9	1,4
Natuur en Gezondheid	16,5	17,2
Economie en Maatschappij	48,4	26,5
Cultuur en Maatschappij	13,0	52,9
Combi-profiel	3,6	1,4
Geen profiel	0,6	0,6

Profielkeuze eindexamenkandidaten vwo 2005

Profiel	Jongens %	Meisjes %
Natuur en Techniek	25,1	3,5
Natuur en Gezondheid	24,0	34,6
Economie en Maatschappij	36,7	26,8
Cultuur en Maatschappij	6,7	31,2
Combi-profiel	6,2	2,7
Geen profiel	1,3	1,2

Het meest opvallende en treurige is dat in 2005 op de havo slechts 1,4 % van de meisjes eindexamen deed in het profiel NT; op het vwo was dat een schamele 3,5% (de leerlingen met een combi-profiel niet meegenomen). Kijken we naar de N-profielen als geheel, dan blijkt dat in 2005 18,6% van de havo- en 38,1% van de vwo-meisjes eindexamen deed in zo'n profiel. Jongens in het voortgezet onderwijs kiezen veel vaker dan meisjes voor een natuurprofiel, met name NT, en daarna voor een opleiding op het gebied van Natuur en Techniek.

Nog enkele andere opvallende zaken:

- Het aantal meisjes is zowel op havo als op vwo groter dan het aantal jongens (53% versus 47%).
- Op het vwo was de keuze voor de natuurprofielen in 2002/2003 leerjaar 4 bijna 55%. Een aanzienlijk percentage leerlingen heeft dan nog niet definitief gekozen voor een profiel. In vwo-5 wordt die keuze in veel gevallen wel gemaakt en neemt het percentage dat een natuurprofiel volgt af.
- In havo-4 ligt de keuze voor de natuurprofielen op minder dan 30%.
- Er lijkt sprake van stabilisatie in de keuze voor een N-profiel. Wel lijkt de keuze voor NT nog steeds iets verder te dalen en die voor NG licht te stijgen.
- Op het vwo ligt de verhouding jongens-meisjes schever in de maatschappijprofielen dan in de natuurprofielen. Slechts circa 40% van de leerlingen in de maatschappijprofielen is jongen, terwijl 46% van de leerlingen in de natuurprofielen meisje is. Het gegeven dat het aandeel meisjes groter is, vormt een deel van de verklaring voor deze scheve verhouding.
- Op de havo is de verhouding jongens-meisjes in de natuurprofielen nog schever dan in de maatschappijprofielen (respectievelijk 65%-35% en 40%-60%).

Waarom relatief zo weinig leerlingen kiezen voor het NT-profiel is dus grotendeels te verklaren uit het keuzegedrag van meisjes. Uit onderzoek blijkt dat meisjes die voor een N-profiel kiezen dit voornamelijk doen omdat dit het beste aansluit bij wat ze later willen gaan doen. Maar tegelijkertijd geven deze meisjes aan te weinig zicht te hebben op bètatechnische beroepen. Wat niet helpt is dat bètavakken gezien worden als vakken voor nerds; iets voor slimmeriken en studiepikken. Er zijn kinderen die er niet tegen kunnen als ze voor 'nerd' worden uitgemaakt.

Dit soort psychologische beïnvloeding is voor tieners vaak een struikelpunt. Ook het ouderlijk milieu speelt een rol. Uit onderzoek van Annemarie van Langen blijkt dat sinds de profielen zijn ingevoerd het opleidingsniveau van de ouders meer meespeelt bij de keuze van hun kinderen dan daarvoor.⁵ Kinderen van hoogopgeleide ouders kiezen exacter dan kinderen met laagopgeleide ouders. De invoering van de profielen lijkt daarmee te hebben geleid tot scherpere scheidslijnen naar sociaal milieu en sekse van leerlingen. Hoe dan ook, het heeft wel tot gevolg dat Nederland in vergelijking met andere landen in Europa relatief zeer weinig afgestudeerden heeft in bèta en techniek.⁶

KEUZEPROCES

Een factor is ook de manier waarop de school in het keuzeproces voor de profielen staat. Er zijn scholen waar leerlingen in de derde klas duidelijk gemaakt wordt dat een N-profiel eigenlijk alleen maar is weggelegd voor de allerbesten. Uit onderzoek van de Inspectie van het Onderwijs⁷ blijkt het niet ongebruikelijk te zijn dat docenten en decanen leerlingen weren uit de N-profielen door negatieve adviezen omtrent profiel- of vakkenpakketkeuze te geven. Dat wordt versterkt door het feit dat meisjes de neiging hebben hun capaciteiten te onderschatten. Bij een zeven voor wiskunde denken jongens al gauw ‘ik wist wel dat ik het kon.’, terwijl meisjes denken ‘ik moet nog veel leren.’

Er is echter hoop op verbetering. Wat niet uit de globale cijfers blijkt, is dat er verschillen zijn tussen scholen. De inspectie heeft geconstateerd dat die verschillen voor een deel verklaard worden uit de kenmerken van de leerlingen zelf (prestatie, motivatie, interesse), maar ook door de houding van de schoolleiding en de vakdocenten in het

keuzeproces. Zichtbaarheid van bètadocenten op school, vooral ook als keuzebegeleider in de tweede fase, heeft een positief effect op keuzes van leerlingen voor bètastudies. Deze docenten weten dat ze een uniek *selling point* hebben: met de natuurprofielen kun je ontzettend veel kanten op. De ervaring is dat op deze scholen inderdaad meer leerlingen een natuurprofiel kiezen. Daaruit mag echter niet de conclusie worden getrokken dat dit ook automatisch tot een grotere instroom leidt in de exacte studies; dat is een aparte problematiek.

Er zijn inmiddels landelijk meer dan honderd scholen die deelnemen aan het Universum Programma van het Platform Bèta en Techniek dat ten doel heeft dat scholen zich profileren als bètaschool door bèta en techniek tot speerpunt in het schoolbeleid te maken. Met diezelfde doelstelling heeft de faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de Universiteit van Amsterdam al vier jaar geleden het bètapartnerconvenant gesloten met een aantal scholen in de regio Amsterdam. Inmiddels zijn dat er twintig. In deze samenwerking participeren ook de VU, HvA en de hogeschool In-Holland. Nog dit jaar zal de bètapartnersamenwerking aanzienlijk versterkt worden en uitgebreid. Het plan is om met dertig tot veertig scholen de ITS-Akademie op te richten voor onderwijs in de natuurvakken, wiskunde en informatica.

HOE DE BUITENWERELD EROVER DENKT

Hierboven heb ik drie redenen genoemd die bijdragen aan het beeld dat de natuurkunde moeilijk is: het gebruik van het formalisme van de wiskunde, het taalgebruik dat woorden in de natuurkunde een meer abstracte betekenis hebben dan in de dagelijkse taal, en het gebrek aan motivatie voor leerlingen om zich daar in te verdiepen gekoppeld

aan de keuze voor een N-profiel. Daarbij kan niet onbesproken blijven in hoeverre het vak zelf motiverend dan wel demotiverend is. Dit is een gevoelig onderwerp dat tot veel emoties kan leiden. Feit is dat er veel leraren zijn die van de natuurkunde een boeiend verhaal weten te maken. Toch is het vak bij een deel van de leerlingen niet populair; te saai en teveel sommetjes.

Ook de buitenwereld heeft hier een mening over. Op de achtergrond van het debat in de Tweede Kamer over de natuurprofielen op havo en vwo, waar ik al eerder aan refereerde, speelde de moeilijkheidsgraad van de bètavakken, en die van de natuurkunde in het bijzonder, een belangrijke rol. Minister van der Hoeven heeft meer dan eens als haar mening gegeven dat leerlingen vanzelf in grotere getale zullen kiezen voor de bètavakken als deze aantrekkelijker gemaakt zouden worden. Zij stelde daarbij de vernieuwing in het vak scheikunde als voorbeeld.⁸ Dat vak is dan ook wel een verplicht profielvak in beide profielen. Ook het vak natuurkunde zou zich moeten vernieuwen, dan komen de leerlingen vanzelf. Natuurkundigen zijn te veel overtuigd van het belang van hun eigen vak. Het is de arrogantie van de fysici die niet beseffen dat natuurkunde op school te moeilijk is en van beperkt belang, waardoor veel moeite moet worden gedaan het ‘aan de man en vrouw te brengen’.

Het vak natuurkunde heeft in de buitenwereld een enigszins elitair imago, een imago waar we zelf als natuurkundigen misschien ook een hand in hebben. Er zijn slechts enkelen die het vak begrijpen op het niveau van Niels Bohr, Richard Feynman, Gerard 't Hooft of Martinus Veltman om een paar bekende namen te noemen, om van Isaac Newton of Albert Einstein maar te zwijgen. Het is een verleidelijke valkuil voor natuurkundigen om zich in gedachte te scharen bij deze elite en bij leerlingen en

studenten de indruk te wekken daarbij te behoren. Sijbolt Noorda heeft dat eens het ‘genialiteitssyndroom’ genoemd. En de sociale omgeving wil wel een handje helpen. Als je zegt dat je natuurkunde doet of studeert, dan wil een gesprek wel eens stilvallen. Er is geen communicatie meer. Isolement, dat is de valkuil die fysici bedreigt als het vak wordt verheven tot olympische hoogte.

EEN PARADOX

Dat natuurkunde intrinsiek moeilijker is dan andere vakken, dat lijkt mij geen goed vertrekpunt voor een serieuze discussie over de moeilijkheid van de natuurkunde. Natuurkunde is moeilijk zoals alle serieuze intellectuele inspanning. Ook een vreemde taal leren kost inspanning, of geschiedenis, en ook de kunsten en de sport vergen inspanning, en veel oefening. ‘No pain, no gain’, zoals Klaas Landsman het zegt⁹. Of met een andere metafoor; slechts weinig bergbeklimmers zullen de top van de Mount Everest bereiken, hoewel er voor geld veel te koop is, maar op de flanken zijn ook interessante en uitdagende bergwandelingen mogelijk.

Natuurkunde is een moeilijk onderwerp, althans zo wordt dat door de meesten in onze samenleving ervaren. Maar anderzijds is de belangstelling en waardering voor de resultaten van de natuurwetenschap zeer groot; het overkomt me de laatste tijd steeds vaker dat na de eerste stereotype opmerking tijdens een kennismaking dat natuurkunde zo’n moeilijk vak is, vervolgens een leuk gesprek volgt over zwarte gaten, fundamentele deeltjes, supergeleiding of klimaatverandering. Dat is de paradox, natuurkunde als afstotend vak om te beoefenen, maar als aantrekkelijk vak om te weten. Het lijkt wel een atoom, vlakbij een sterk afstotende kracht maar van veraf worden

andere atomen aangetrokken. Daartussen is ergens een evenwicht, een *soft spot*. Naar mijn overtuiging zou het onderwijs in de natuurkunde kunnen proberen in dat kuiltje te komen.

Het doel zou moeten zijn het zo op te zetten dat studenten of leerlingen een blik geboden wordt op de conceptuele structuur van de natuurwetenschap in het verklaren van de natuurlijke wereld om ons heen. De natuurwetenschap heeft in dat opzicht veel te bieden; het logo van de faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica geeft de breedte aan van de natuurwetenschappen in een cirkel die loopt van het allerkleinste tot het allergrootste. Op al deze schalen heeft de natuurkunde iets bij te dragen, soms als fundamentele wetenschap, bijvoorbeeld als het gaat om elementaire bouwstenen van de natuur of het ontstaan van het heelal, soms als ondersteunende en toegepaste wetenschap, als het gaat om biologische of scheikundige processen.

DE DIDACTIEK VAN HET NATUURKUNDEONDERWIJS

Maar hoe pak je het nu aan over zo'n ongelofelijk breed terrein, waar zoveel achter schuilgaat, iets te vertellen dat hout snijdt? De koninklijke weg naar deze kennis is natuurlijk om natuurkunde, sterrenkunde of een ander bètavak te gaan studeren. Dat kan ik iedereen van harte aanbevelen, maar de potentiële groep van natuurkundigen dat is toch niet waar het op de middelbare school om gaat. De bedoeling is om leerlingen met belangstelling iets te bieden dat structuur biedt zonder dat het formele karakter van de natuurkunde (de formules) overheersend wordt. Ik zeg niet dat het zonder wiskunde kan, maar wel concepten eerst en formules laatst.

De belangrijkste regel van de didactiek om dit aan te pakken is een open deur: ken uw studenten, weet wat ze weten en kunnen, en verdiep je in hun vragen en moeilijkheden. En dat kan verrassende antwoorden geven. In dit verband wil ik een onderzoek noemen door Sheila Tobias beschreven in haar boek *They are not dumb, just different*¹⁰. In dat boek beschrijft ze een interessant experiment waarin ze een aantal afgestudeerden met een alfa- en gamma-achtergrond zich liet inschrijven voor een opleiding natuurkunde bij een goed aangeschreven Amerikaanse universiteit. Deze studenten hadden alle academische- en studievaardigheden om te slagen, maar waren geen onderzoekers in sp . Van deze studenten noteerde Sheila Tobias de ervaringen die kort zijn samen te vatten als:

- De standaard natuurkunde was saai omdat er geen relatie was met de persoonlijke interesses van de studenten.
- Het onderwijs deed geen poging om de sterke punten van deze studenten aan te spreken, maar wel veelvuldig de zwakke punten, zoals formulemanipulatie.
- Weinig aandacht voor de grote lijn en conceptueel begrip, maar sommensessies.
- Samenwerking werd eerder ontmoedigd dan aangemoedigd.

Dit onderzoek dateert al weer van een tijd geleden en had betrekking op een standaard *Introductory Physics Course* aan een Amerikaanse universiteit. Ondertussen is er zeker iets veranderd. Aan de Universiteit van Harvard bijvoorbeeld heeft Eric Mazur navolging gevonden met zijn *Peer Instruction*-didactiek¹¹. Tijdens een college krijgen studenten verschillende malen vragen die ze in groepjes van drie of vier moeten beantwoorden en aan elkaar uitleggen waarom. En er zijn ook resultaten te melden. In het blad *Physics Today* van maart jl. stond dat in de VS een groeiend aantal high school leerlingen natuurkunde in hun pakket

nemen.¹² Een van de redenen is dat bij de toelating op de universiteit hier steeds meer naar wordt gekeken. Een stok achter de deur dus, het vak moet ergens toe dienen. Maar opvallend is dat vrijwel de gehele groei in de VS plaatsvindt in het segment van niet-traditioneel natuurkundeonderwijs, zoals *Conceptual Physics Courses*. Tegelijkertijd is er ook een groeiend aanbod in *Advanced Courses*. Minder dan de helft van de leerlingen volgt het vak natuurkunde nog in de traditionele vorm.

Ook in eigen land is er veel gebeurd, misschien nog niet eens zoveel bij de universiteiten, maar zeker wel op de middelbare school. Leraren hebben zich de laatste vijftien jaar geconfronteerd gezien met een groot aantal organisatorische wijzigingen: van mammoet naar basisvorming en tweede fase, studiehuis, nu weer een aanzienlijke herziening van de profielen per 2007. Hoe ingrijpend dat is kunt u bijvoorbeeld afmeten aan het feit dat, als gevolg van alle veranderingen, het aantal contacturen voor het vak natuurkunde in de loop van de jaren ruwweg is gehalveerd. Door deze nood gedwongen hebben leraren zich wel moeten verdiepen in de didactiek van het vak natuurkunde om mogelijkheden te zoeken hun lessen zo effectief mogelijk te maken. De reeks van Woudschoten-conferenties die jaarlijks worden bezocht door meer dan vijfhonderd natuurkundeleraren, laat zien met hoeveel creativiteit oplossingen worden gezocht.

Deze ervaringen in Nederland zijn helaas slechter gedocumenteerd dan die in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk. De reden is dat in Nederland voor veel dingen geld is, maar niet voor vakdidactisch onderzoek. Maar waar er in het buitenland systematisch onderzoek is gedaan, laat dat zien dat ook zonder zeer radicale ingrepen veel te bereiken is. Er bestaat nog geen didactisch kookboek (een

Dikke van Dam voor de didactiek) maar er is wel een aantal algemene richtlijnen waarmee je een heel eind kunt komen¹³:

- a) Het helpt om iets te weten van de resultaten van vakdidactisch onderzoek.
- b) Een interactieve leeromgeving stimuleert.
- c) Zoek een balans tussen kwantitatief probleemoplossen en kwalitatief redeneren en conceptueel begrip en toets daarop ook.

Door de lessen iets anders in te delen, goed gebruik te maken van praktisch werk, opdrachten en huiswerk, en een stimulans voor leerlingen om van elkaar te leren, kan veel bereikt worden.

WELKE ONDERWIJSVORM?

Welke onderwijsvormen horen bij deze algemene richtlijnen? Vaak wordt in dit verband verwezen naar de piramide van Bales¹⁴. Daarin staat het hoorcollege in lijn met de academische traditie aan de top van de piramide, maar wel met een dubieuze reputatie. In onderzoek is namelijk vastgesteld dat dit een zeer inefficiënte manier van kennisoverdracht is. Dat is natuurlijk vloeken is deze academische tempel, maar het is vele malen bewezen dat studenten zich na afloop van een college vaak maar ternauwernood kunnen herinneren wat het onderwerp was. Van gedetailleerde afleidingen blijft heel weinig tot niets hangen. De reden is eenvoudig dat het korte-termijn geheugen niet zo heel veel informatie kan opslaan. Dat moet eerst verwerkt worden.

In dat verband is het te betreuren dat het oorspronkelijke doel van het hoorcollege in onbruik is geraakt, namelijk de student te voorzien van een eigen gemaakt collegedictaat om uit te werken. Niets helpt zo goed om te memoriseren als het zelf opschrijven, dat weten we allemaal heel goed.

Nu dat instrument is vervallen moet daar iets anders voor in de plaats komen, dus bijvoorbeeld kleinere leseenheden met ruimte voor intellectuele verwerking. Een eenvoudig recept dat iedereen ook wel kent, maar zo moeilijk te verwezenlijken is in een universitaire traditie van hoorcolleges. Vooral het van elkaar leren, de basis waar de piramide van Bales op rust, is een onderschatte onderwijsvorm in het natuurwetenschappelijk onderwijs. Toch weten we als docent: als je iets wilt begrijpen, moet je er college in gaan geven.

Een van de manieren om een ander onderwijsritme in te voeren is het model van de Studio Classroom. De Studio Classroom is zowel een onderwijsmodel als een onderwijsruimte met als doelstelling:

- Colleges en practica waar mogelijk te integreren.
- Het stimuleren van een interactieve leeromgeving. Het interactieve element in vergelijking met een hoorcollege is dat de inleidingen in de stof relatief kort zijn en gevolgd worden door een opdracht voor de studenten om zelf aan het werk te gaan.

Bij het onderwijsinstituut Exacte Wetenschappen van de UvA wordt een aantal van de vakken al enkele jaren in deze vorm gegeven. Het idee heeft ook navolging gevonden; er is een Surf-vernieuwingsproject uitgevoerd door het Amstel Instituut van de UvA en het Julius Instituut van de UU om het idee te stimuleren en de ervaringen te evalueren¹⁵. Ook bij de faculteit Technische Natuurwetenschappen van de TU-Delft is vanaf 2005 de Studio Classroom ingezet bij een van de natuurkundevakken. Het slagingspercentage steeg spectaculair; van 50 naar 90 procent, een opmerkelijk positief resultaat. De voornaamste klacht over deze onderwijsvorm is eigenlijk, zowel van docenten als studenten, dat het vermoeiend is. Dat is de prijs van interactief onderwijs.

NO PAIN, NO GAIN

Vermoeidheid wijst op inspanning en dat is dan ook precies waarom dit onderwijsmodel doeltreffend is. De crux is namelijk dat kennis niet kan worden overgedragen in onderwijs, hoezeer docenten ook verknocht zijn aan die opvatting. Vanuit de beschikbare kennis over leren is een eerste en meteen ook belangrijke vaststelling dat kennis en vaardigheden niet overdraagbaar zijn. Zoals Gerard Westhoff, hoogleraar didactiek van de moderne talen aan de Universiteit Utrecht zegt: ‘Kennis is geen ziekte. Kennis moet door de leerder zelf verworven worden in een proces dat veel kenmerken heeft van groei. Op groei-processen hebben we maar een beperkte invloed. En groei kost tijd.’¹⁶ Deze vergelijking is niet uit de lucht gegrepen. Uit onderzoek blijkt dat de resultaten van studenten op tentamens eigenlijk maar door twee significante variabelen worden bepaald:

- De aanwezige voorkennis.
- De effectieve tijd die een student besteedt aan een vak.

Op dit laatste zijn de vorm van het onderwijs en de inrichting van het curriculum van substantiële invloed. Het succes van de Studio Classroom is in belangrijke mate op de grotere tijdsbesteding van de studenten terug te voeren. Daarmee wil ik niet zeggen dat de manier waarop het onderwijs is ingericht irrelevant is. Als zowel getoetst wordt op conceptueel inzicht als op probleemoplosvaardigheden dan zijn er indicaties dat er een positieve correlatie is tussen die twee scores.¹⁷ Het onderwijs in de Studio Classroom lijkt ook een positief effect te hebben op de conceptuele ontwikkeling van de studenten en daarmee op de totaalscore. Dat laatste is niet zo verrassend. ‘Je begrijpt het pas als je het ziet’.

HET 'NIEUWE LEREN'

Moeten we nu aan deze positieve resultaten de conclusie verbinden dat we aan de universiteit toe moeten naar nieuwe vormen van onderwijs of zelfs naar een vorm van 'nieuw leren'? Mijn korte antwoord daarop is, wat de eerste jaren van het bacheloronderwijs betreft, ja. Daarvoor zijn twee redenen. Ten eerste, de studenten zijn als leerlingen gewend aan andere onderwijsvormen. Ten tweede, de doelstellingen van academisch onderwijs kunnen beter vormgegeven worden in andere werkvormen dan in de heilige drie-eenheid: hoorcollege, werkcollege, schriftelijk tentamen.

Het 'nieuwe leren' is inmiddels een beladen term en er lijkt zelfs een nieuwe schoolstrijd te zijn ontstaan tussen de voor- en tegenstanders¹⁸. De tegenstanders zien een voortdurende afkalving van het kennisniveau, onder andere door de introductie van nieuwe onderwijsvormen zoals het studiehuis en het competentiegericht leren. De voorstanders van het 'nieuwe leren' verwijten de tegenstanders misplaatste nostalgie en gaan zelfs zo ver als te spreken over een 'paradigma shift'. De 'shift' zou het gevolg zijn van nieuwe wetenschappelijke inzichten over leren en anti-autoritaire opvattingen over de opvoeding van kinderen.¹⁹

In de traditionele didactische opvatting zijn de actoren in het onderwijs- en leerproces: leraar-leerling-leerstof. Deze opvatting gaat terug op Jan Amos Komenský (gelatiniseerd als Jan Amos Comenius), een Tsjechische filosoof, theoloog en pedagoog. Zijn belangrijkste pedagogische werk is de *Didactica Magna* (Grote onderwijsleer), die als een belangrijke mijlpaal in de didactiek wordt gezien. Comenius kreeg in 1656 asiel in Amsterdam waar hij enige jaren in

het Huis met de Hoofden woonde. Hij overleed in 1670 op 78-jarige leeftijd en ligt begraven in Naarden.

In de opvattingen van het ‘nieuwe leren’ wordt de ervaringskant en de medeverantwoordelijk van de leerling voor het eigen leerproces sterk uitvergroot en de instructiecomponent vermindert of zelfs uitgebannen. Dit heeft enorme consequenties voor het onderwijs, niet het minste daarvan is dat het de positie van de docent als drager van vakinhoudelijke expertise vrijwel buiten beeld brengt. In de schema’s waarmee het nieuwe leren wordt aangeprezen is dit duidelijk te zien. De traditionele didactische driehoek leraar-leerling-leerstof wordt vervangen door een nieuwe: leerbron-leerling-leeromgeving. De leraar is gedegradeerd tot een leerbron, op gelijke voet met een leerboek of de zoekmachine Google. Men zou het vermoeden kunnen hebben dat deze opvattingen politiek als geroepen komen in een tijd dat de gekwalificeerde leraar schaars dreigt te worden en de beurswaarde van Google explodeert.

De theoretische achtergrond van het ‘nieuwe leren’ is de opvatting dat kennis ‘subjectief geconstrueerd’ wordt en dat kennis heden ten dage snel achterhaald is. Dit uitgangspunt heeft grote consequenties voor de vormgeving van het onderwijs. Zo stelt men dat leerlingen beter gewijs gemaakt kunnen worden in het opzoeken en beoordelen van informatie, dan te worden getraind in bijvoorbeeld taal en wiskundige basisvaardigheden. Kern van het ‘nieuwe leren’ is de grotere nadruk op leeromgevingen die zijn gebaseerd op kennisconstructie in plaats van kennisoverdracht.

CONSTRUCTIVISME

Omdat de leer van het ‘constructivisme’ ook in de didactiek van de science-vakken en de wiskunde een rol speelt, wil ik iets nader ingaan op de theoretische achtergrond van het ‘nieuwe leren’. Aan de oratie²⁰ van Greetje van der Werf ontleen ik dat in de literatuur waarin wordt getracht het nieuwe leren wetenschappelijk te onderbouwen vaak verwezen wordt naar drie belangrijke principes van leren:

- a) Leren is een construerende activiteit.
- b) Leren is een gesitueerde activiteit.
- c) Leren is een sociale activiteit.

De essentie van de constructivistische opvatting over kennis is dat er geen objectieve werkelijkheid bestaat die gekend kan worden. Dit impliceert dat individuen zelf kennis construeren door het geven van betekenis aan ervaringen met de wereld om hen heen. Een van de eerste psychologen die zich in zijn theorie over ontwikkeling en leren heeft gebaseerd op deze epistemologische opvatting over kennis was Jean Piaget. Hij vat leren en ontwikkeling op als het proces van het organiseren van ervaringen in cognitieve structuren (schemata) door middel van assimilatie en accommodatie. Ook in de cognitieve informatieverwerkingsbenadering is de constructivistische visie op leren herkenbaar. In deze benadering wordt kennisconstructie opgevat als het opnemen van ervaringen in en het (re)organiseren van bestaande mentale representaties.

Beide theorieën verschillen echter in een belangrijk opzicht van het hedendaagse constructivisme. Tegenover de opvattingen van Piaget en van de cognitieve informatieverwerkingsbenadering dat kennis geworteld is in de empirie en (deels) geïnstrueerd moet worden, staat de opvatting dat alle kennisconstructie actief door de leerling zelf geschiedt op basis van persoonlijke ervaringen en dat individuen

ieder hun eigen ‘waarheden’ vormen. Deze opvatting over leren en instructie wordt ook wel het ‘radicaal constructivisme’ genoemd, en het is deze opvatting waarop de ideeën over het ‘nieuwe leren’ zijn gebaseerd.

De twee andere principes van leren, leren als gesitueerde activiteit en leren als sociale activiteit, komen voort uit de school van de gesitueerde cognitie. Het eerste principe beweert dat alle kennis specifiek is voor de situatie waarin deze kennis is opgedaan en dat meer algemene kennis niet kan worden getransformeerd naar situaties in de ‘echte wereld’. Om deze reden, zo wordt gesteld, moet leren plaatsvinden binnen ‘authentieke’ leeromgevingen die zoveel mogelijk lijken op de werkelijke omgeving buiten school of op problemen die leerlingen buiten school tegen komen.

Het principe van leren als sociale activiteit hangt sterk samen met het principe van leren als gesitueerde activiteit. Leren in een authentieke context impliceert ook een sociale context, omdat de meeste beroepen niet geïsoleerd worden uitgeoefend. Om deze reden benadrukt de school van het gesitueerd leren het samenwerkend leren in een *community of practice*. In de ideeën over het nieuwe leren komen de opvattingen van het radicaal constructivisme en die van de gesitueerde cognitie samen, en om die reden wordt ook wel gesproken van ‘sociaal constructivisme’.

Tot zover Greetje van der Werf. Haar grote bezwaar tegen deze nieuwe ideologie van het nieuwe leren is dat de empirische onderbouwing uiterst zwak is en op cruciale punten ontbreekt. Haar stelling is: ‘Directe instructie is de meest gevalideerde en effectieve onderwijsmethode die er is voor alle leerlingen’, maar wel met erkenning van de grondgedachte van het constructivisme, namelijk dat leren

een actief proces is dat alleen plaatsvindt als de leerling/student daarin actief is, er voor open staat en er moeite voor doet.²¹ In wezen is onderwijs niets anders dan een wederzijds commitment van docent en student. Ik neem aan dat deze conclusie geen openbaring is voor dit gehoor.

VERNIEUWING VAN DE N-PROFIELEN

De aanleiding om nogal uitvoerig in te gaan op het paradigma van het ‘nieuwe leren’ is dat echo’s van deze discussie ook de didactiek van de bètavakken raken, in het bijzonder op de middelbare school. Ik beperk mij tot de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Op dit moment zijn in opdracht van het ministerie van OCW voor alle bètavakken vernieuwingscommissies aan het werk om voor de bovenbouw havo en vwo een examenprogramma te ontwerpen dat vanaf 2010 kan worden ingevoerd. De Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs²², in de wandelgangen NiNa genoemd, is verantwoordelijk voor het ontwerp van het natuurkundeprogramma. Een belangrijk aspect van de opdracht van de commissies is de vakken een uitdaging te laten zijn voor een brede groep leerlingen, niet alleen de leerlingen die al op voorhand geïnteresseerd zijn in een bètaopleiding. Enerzijds moeten de vakken ruimte bieden aan de nieuwsgierigheid van leerlingen die diep willen gaan, en anderzijds een verscheidenheid van onderwerpen bieden aan leerlingen met een meer algemene interesse of met een interesse in de toepassingsgebieden van de natuurwetenschap of wiskunde. Dat stelt hoge eisen aan de inrichting van het onderwijs en niet in de laatste plaats aan de vakbekwaamheid en het enthousiasme van de docenten.

Het is bekend uit onderwijskundig en didactisch onderzoek dat:²³

- Leren wordt bevorderd door leerlingen te confronteren met een complex aan ervaringen die rijk aan inhoud en authentiek zijn, en aansluiten bij hun interesses.
- Leren wordt bevorderd als leerlingen een persoonlijke uitdaging kunnen vinden in de aangeboden inhoud en leeractiviteiten.
- Inzicht wordt bevorderd door activerende leervormen; intensieve analyse van een authentiek probleem vanuit verschillende invalshoeken bevordert de verankering en internalisering van nieuwe informatie.

Samengevat, het gaat eenvoudig om de mate van uitdaging die het onderwijs stelt. Naar mijn mening laat de traditionele inrichting van het onderwijs in bètavakken hier kansen liggen. De traditie in het natuurwetenschappelijk onderwijs is om het product van wetenschap voorrang te geven boven het proces; om geaccepteerde kennis te stellen boven kennis-in-wording; om het antwoord te stellen boven de vraag. Leer- en schoolboeken besteden nauwelijks aandacht aan de proceskant van wetenschap; *learning about science* komt vrijwel niet aan de orde.²⁴

Dit is geen spijkers op laag water zoeken. Middelbare scholieren stellen nogal eens de vraag: ‘Is er nog wel iets nieuws te verwachten van de natuurkunde of is het nu wel zo’n beetje af?’ Overigens is dat een discussie die ook buiten de school wordt gevoerd bijvoorbeeld door John Horgan in het boek *The End of Science*²⁵ met een riposte van John Maddox, jarenlang hoofdredacteur van het gerenommeerde wetenschapsblad *Nature*, in *What remains to be discovered*²⁶. Blijkbaar is deze vraag niet alleen interessant voor wetenschapsfilosofen of professionele onderzoekers; het speelt ook bij leerlingen op de middelbare school die nadenken over een studie. Bij een brainstorm-

dag over de website www.natuurkunde.nl bleek dat een aantal leerlingen, die op zichzelf best sympathiek staan tegenover het vak natuurkunde, toch niet staan te springen om het te gaan studeren, omdat dat vak nu wel zo'n beetje af is. Alle ontwikkelingen waar zij op school of in de media van horen, spelen zich af in de techniek, in de multimedia, in de biotechnologie, enzovoorts, maar niet in de natuurkunde. Dit stelt dus de vraag waar dat beeld door wordt veroorzaakt: door de media, door de leerstofkeuze in de Nederlandse natuurkundecurricula, door de manier waarop docenten ermee om gaan, door de examens, door de communicatie van universiteiten en bedrijven met jongeren?

CONTEXT-CONCEPT BENADERING

Bij de vernieuwing van bètavakken speelt de didactische aanpak die bekend is onder de benaming 'context-concept benadering' een belangrijke rol. Dit is een didactische aanpak die internationaal opgang doet en waar ook al eerder in de zeventiger jaren in Nederland in het zogeheten PLON-project (Project Leerpakketontwikkeling Natuurkunde) mee is geëxperimenteerd.²⁷ Basis van deze aanpak was het kiezen van samenhangende en voor leerlingen meer herkenbare gebieden als bijdrage aan de leerbaarheid en de toepasbaarheid van de natuurwetenschap: de contexten. Contexten sluiten aan bij voor leerlingen herkenbare situaties uit de leefwereld, beroepswereld of wereld van de wetenschap. Contexten kunnen ook reliëf geven aan de vakdisciplines als menselijke activiteit. Wetenschap is wat wetenschappers doen; natuurkunde is wat natuurkundigen doen.

De ervaringen met PLON in Nederland en met context-georiënteerde lesmethoden elders, onder andere de les-

methode van Salters Horners voor het Britse A-level, en het reeds langer lopende Duitse project *Chemie im Kontext*, geven op bepaalde aspecten een positief beeld van deze didactiek. In een breed uitgevoerd internationaal onderzoek door een review team van de University of York in 2003 wordt geconcludeerd dat een context-benadering een effectieve manier kan zijn om leerlingen te interesseren en te motiveren bij hun lessen in de bètavakken²⁸. Een aantal studies geeft ook een toename te zien van het aantal leerlingen dat een bètavervolgopleiding kiest.

Toch is de context-concept benadering niet onomstreden²⁹, onder meer omdat niet altijd duidelijk is wat daaronder wordt verstaan. Voor de één is het min of meer een open deur, voor de ander een al dan niet verwerpelijke onderwijs-ideologie. De discussie concentreert zich daarbij vaak op de betekenis van het woord 'context' waarbij weinig aandacht wordt geven aan het tweede woord 'concept' dat door een streepje met het woord 'context' verbonden is. Context duidt op onderwijs, maar concept duidt op leren. Dat is een cruciaal onderscheid. In de context-concept benadering moeten de contexten de aanzet zijn tot leren denken in concepten, dat wil zeggen in termen van natuurwetenschappelijke en wiskundige begrippen. De leerfasen waarin dit gebeurt zijn oriëntatie, nadere uitwerking in diverse praktische en cognitieve leeractiviteiten en ten slotte verdieping en verankering. In deze fase wordt de kennis gegeneraliseerd en toepasbaar gemaakt in nieuwe situaties.

In essentie is de context-concept benadering niet een onderwijsmethodiek, maar een opvatting over leren. Om deze bewering in een perspectief te plaatsen wil ik een verband leggen met de bekende leercyclus van Kolb³⁰. David Kolb is een van de grondleggers van een invloedrijke leertheorie

die naast waardering voor abstract leren ook aandacht vroeg voor het concrete op ervaring gebaseerde leren, de focus van het nieuwe leren. Zijn belangrijkste doelstelling was hulpmiddelen te ontwikkelen om het leren van managers te optimaliseren; voor dit gehoor mogelijk geen aanbeveling voor zijn leertheorie. Het gelukkige toeval wil echter dat de leercyclus van Kolb nauw verwant is aan een leer- en instructiemodel dat al eerder in de zestiger jaren ontwikkeld werd door de natuurkundige Robert Karplus en medewerkers om een nieuwe vorm van science-onderwijs te propageren.³¹

INSTRUCTIEMODEL VAN KARPLUS-ATKIN-LAWSON

Robert Karplus was een briljant theoretisch fysicus die in het begin van zijn carrière in de vijftiger jaren belangrijke bijdragen heeft geleverd aan de toen nieuwe theorie van de quantum elektrodynamica. In 1958, pas 31 jaar oud, werd hij benoemd als hoogleraar aan de Universiteit van Berkeley. Ongeveer terzelfder tijd raakte hij betrokken bij projecten die tot doel hadden een science-curriculum voor kinderen op de basisschool te ontwikkelen. Het begin van deze belangstelling was het verzoek van zijn dochtertje, toen in groep 2, om iets te vertellen over de historische Wimshurst elektriseermachine die de familie in bezit had. Van het één kwam het ander.

In dit opzicht is er een parallel met de carrière van Hans Freudenthal³², voor de oorlog begonnen als assistent van L.E.J. Brouwer bij de UvA. Toen hij na de oorlog geen carrièrekans kreeg aan de UvA, vertrok hij naar Utrecht waar hij later de grondlegger werd van het Freudenthal Instituut. Dat instituut had dus ook in Amsterdam kunnen staan. Een recent voorbeeld van een *physicist turned educator* is Carl Wieman, Nobelprijswinnaar natuurkunde in 2001,

U.S. Professor of The Year 2004, en sinds begin dit jaar hoofd van het prestigieuze Science Education Program van de University of British Columbia. De motivatie voor deze stap is in zijn eigen woorden: ‘A particular concern of mine has been improving how physics is taught to students who are not planning to become physicists, in the hope of one day making physics understandable, useful, and interesting to a large fraction of the population’.

Maar we keren terug naar Karplus. Met subsidie van de National Science Foundation ontwikkelde Karplus in 1959 drie lesmodules die hij zelf onderwees. Hoewel in het algemeen de evaluatie positief was, bleken toch veel kinderen moeite te hebben met meer abstracte begrippen, waarvan de eerder genoemde begrippen ‘energie’ en ‘stroom’ voorbeelden zijn. Hij stelde zich de centrale vraag die nog steeds actueel is, hoe de intuïtieve noties van kinderen verbonden konden worden met de natuurwetenschappelijke opvattingen over de natuur. De ideeën die Karplus daarover ontwikkelde werden sterk beïnvloed door het werk van Jean Piaget, de al eerder genoemde Zwitserse ontwikkelingspsycholoog. Na een bezoek in 1961 aan Piaget begon Karplus met een wetenschappelijk programma voor curriculumontwikkeling dat uiteindelijk een leermodel tot resultaat had dat de Learning Cycle wordt genoemd.

De leraren waarmee Karplus werkte vonden echter de Learning Cycle te abstract voor een directe toepassing in het onderwijs. Daarom bewerkte Karplus met anderen de leercyclus tot een instructiemethode. In de Karplus-Atkin-Lawson cyclus worden vier stappen onderscheiden.³³ Het onderwijs begint met *engagement*, eerst moet de belangstelling van de leerlingen gewekt worden voordat zinvol leren kan plaatsvinden. Kort samengevat zijn de vier stappen, kernachtig in het Engels te benoemen als de *Four E's*:

1. *Engagement (oriëntatie):*

De docent presenteert een probleemstelling in een context die de interesse kan wekken van leerlingen.

2. *Exploration (uitwerking):*

Leerlingen verkennen de vraagstelling en werken hun onderzoeksvragen uit. De activiteiten kunnen cognitief en praktisch van aard zijn.

3. *Explanation (verdieping):*

De docent koppelt het resultaat van de leerlingenactiviteiten aan het leerdoel en benoemt principes en begrippen in een grotere samenhang.

4. *Elaboration (verankering):*

De docent geeft de studenten nieuwe informatie die het onderwerp of probleem in een bredere context plaatst of die leerlingen in staat stelt niet eerder besproken problemen aan te pakken.

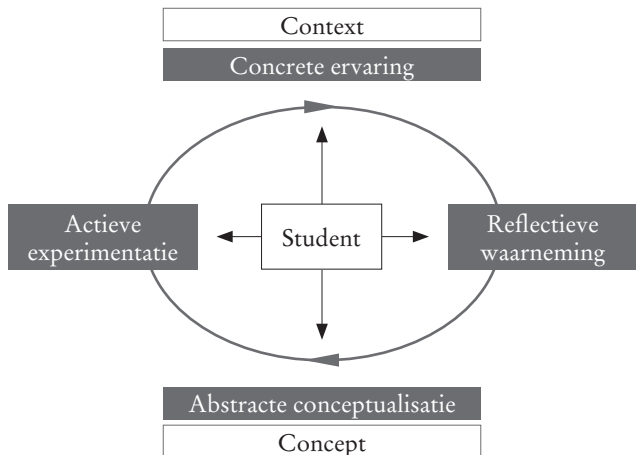
De vier stappen in het Karplus-Atkin-Lawson model moeten niet opgevat worden als een dwingend voorschrift voor onderwijs en instructie. Zij vormen een aanwijzing voor de docent voor het ontwikkelen van een didactische aanpak die de verschillende fasen in het leerproces (oriëntatie, uitwerking, verdieping en verankering) in een of andere vorm aan bod laat komen. Uiteindelijk zal kennis alleen blijvend zijn als een leerling zich deze kennis eigen heeft gemaakt door reflectie en actief toepassen. Worden stappen overgeslagen of te snel doorlopen, dan daalt het leerrendement. Dat is te begrijpen: ervaring wint aan waarde door erover na te denken; inzichten worden pas echt bruikbaar als ze worden uitgeprobeerd en getoetst.

LEERCYCLUS VAN KOLB

De bovengenoemde vier leerfasen zijn ook terug te vinden in de bekende leercyclus van Kolb. De overeenkomst met Karplus c.s. is niet toevallig, omdat hun beider inspiratie

uit dezelfde bron komt, namelijk Piaget. Overigens ondergraaft dit een bewering van Luc Stevens, een bekend voorstander van het ‘nieuwe leren’, dat met name voorstanders van het instructiemodel de basale inzichten van de ontwikkelingspsychologie van de laatste eeuw zouden negeren, zoals vertegenwoordigd in het werk van Piaget, Vygotsky en Bruner.³⁴

De vier fasen van het leren zijn door Kolb benoemd als: concrete ervaring, reflectieve waarneming, abstracte conceptualisatie en actieve experimentatie. Het leren kan beginnen met een concrete hier-en-nu-ervaring in een bepaalde context, gevolgd door reflectieve observaties betreffende de ervaring. Vervolgens worden de gegevens geanalyseerd. De conclusies uit deze analyse leiden tot abstracte begripsvorming over de situatie waarin de ervaring werd opgedaan. In deze nieuwe kennis worden begrippen en concepten verwerkt die kunnen leiden tot actief vragen stellen en de situatie opnieuw bezien. De nieuwe kennis wordt geconsolideerd door terugkoppeling naar andere situaties en ervaringen.



Het verband met de context-concept benadering volgt uit de beschrijving van de leerfasen: de context is de concrete hier-en-nu ervaring waarmee het leren start; concepten ontstaan in de fase van abstracte begripsvorming. Daartussen liggen de leeractiviteiten die deze stap mogelijk maken. De concept-context benadering is dus een opvatting over leren, zoals ik eerder al aankondigde, met een grondslag in het constructivisme. Het is geen dwingend voorschrift voor onderwijs; het is een aanzet voor een didactiek.

Niettemin kunnen uit de leercyclus van Kolb in combinatie met empirisch onderzoek wel een aantal conclusies getrokken worden over de praktische implementatie van onderwijs. Ik zal er drie bespreken: (1) de inrichting van het curriculum, (2) de keuze van contexten en (3) de rol van de leraar. Allereerst de inrichting van het curriculum voor de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde.

ONTWIKKELINGSSTADIA

Zowel Karplus als Kolb zagen hun model als de basis voor een opklimmende spiraal van toenemend inzicht die zich uitstrekt over opeenvolgende leerjaren waarin wordt gebouwd aan verdieping van begrippen en concepten. Iedere nieuwe context vereist een voorafgaande cyclus van leren en begrip. Leidraad was daarbij het model van Piaget voor de onderscheiding van verschillende fasen in de cognitieve ontwikkeling van kinderen. Daarbij gaat het om cognitieve functies als taalbegrip, ordenen, schatten, abstraheren en generaliseren; geen zaken die een kind bij de geboorte al mee krijgt, maar die zich door opvoeding en onderwijs moeten ontwikkelen. Trouwens ook in de Nederlandse didactiek kreeg Piaget hiermee navolging in het werk van Van Hiele. Pierre van Hiele, als eerste in 1957 bij Freudenthal gepromoveerd op een didactisch

onderwerp, is een invloedrijke didacticus die met zijn niveautheorie school heeft gemaakt. Anders dan bij Piaget zijn de Van Hiele niveaus in principe geen leeftijdsgebonden ontwikkelingspsychologische stadia van begripsvorming, maar stadia in het leerproces die bij het leren van wiskunde doorlopen moeten worden.³⁵

Stadium	Leeftijd
Sensomotorisch	0-2
Pre-operationele denken	2-8
Concreet operationele denken	8-?
Formeel operationele denken	12-?

Onderdeel van het ontwikkelingsprogramma van Karplus en collega's was een uitgebreid empirisch onderzoek naar het leren van kinderen door observatie en analyse van de praktijk in de klas gedurende een aantal jaren. Een van de uitkomsten van het onderzoek van Karplus was dat bij leerlingen de intellectuele vaardigheid in abstract en formeel redeneren zich minder snel ontwikkelde dan door Piaget werd aangenomen. Dit onderzoek is later ook uitgevoerd onder universitaire studenten met dezelfde conclusie, namelijk dat ook bij studenten deze vaardigheden minder aanwezig zijn dan gewoonlijk verondersteld, overigens met een aanzienlijke variatie.

Door modern hersenonderzoek worden deze bevindingen bevestigd. Het was al bekend dat het mogelijk is de vier fasen van de leercyclus van Kolb direct te associëren met bepaalde hersengebieden. In het bijzonder is het abstract leren geassocieerd met het hersendeel pal achter het voorhoofd, de prefrontale hersenschors. Recent is nu ontdekt met hersenscans dat sommige hersengebieden later rijpen dan andere en dat gaat door tot in de vroege volwassenheid.

De prefrontale hersenschors is bij pubers nog volop in ontwikkeling. Op grond daarvan is hoogleraar Neuro- en biopsychologie Jelle Jolles van de Universiteit van Maastricht van mening dat leerlingen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs nog helemaal niet klaar zijn voor de vaardigheden die worden verwacht, zoals zelfstandig werken, plannen en structuur aanbrengen.³⁶ Deze observatie is ook van belang voor het universitaire onderwijs omdat het mogelijk een deel van de verklaring is waarom studenten in hun eerste jaren zoveel problemen met conceptueel en formeel denken hebben.

Hieruit moet niet de conclusie worden getrokken dat kinderen geen aanleg hebben voor science en wiskunde, integendeel. Laatst gaf collega Els de Wolf een kinderlezing onder de titel *Wat zijn de allerkleinste bouwstenen van de wereld?* Deze Wakker Worden Kinderlezingen, georganiseerd door het science center Nemo en de Universiteit van Amsterdam, zijn bedoeld voor kinderen tussen de 8 en 12 jaar oud.³⁷ Wat me opviel was de nieuwsgierigheid om te begrijpen van de aanwezige kinderen, een flink zaaltje vol, maar ook dat een aantal natuurkundige begrippen zoals elektron, quark, oerknal al bijna *household names* zijn. Kinderen zijn bijzonder leergierig en flexibel, maar hun kennis en ervaring met logisch redeneren is beperkt. Als gevolg daarvan hebben kinderen een beeld van de wereld dat in de dagelijkse ervaring is geworteld, en dat kan leiden tot begripsproblemen bij het accepteren van nieuwe ideeën. Het is de taak van volwassenen, en in het bijzonder onderwijzers en leraren, om de kinderen te helpen de verbanden te leggen tussen bekende en nieuwe begrippen die ze zelf niet kunnen ontdekken. Precies dus ook de motivatie van Robert Karplus voor zijn *Science Curriculum Improvement Study Project*.

LEERLIJN

Met deze wetenschap is er echter wel iets dat verbeterd kan worden in de opbouw over de jaren van het natuurkundeonderwijs en het scienceonderwijs in het algemeen. Jolles bepleit dat er meer rekening moet worden gehouden met de cognitieve ontwikkeling van leerlingen. Ik vertaal dat in het beeld van een geleidelijke klim naar de top; een doorlopende leerlijn heet dat in het onderwijsjargon. Die klim is in de huidige onderwijsstructuur niet optimaal. In de kinderjaren en de lagere school blijven kinderen vrijwel op het vlakke land, ver van de Olympus of Mount Everest. In de onderbouw van het voortgezet onderwijs is het terrein wat geaccidenteerder, maar het blijven verre uitlopers van het hooggebergte. Dan in klas vier ineens de steile helling richting top van het vak natuurkunde voor 15-18-jarigen in de N-profielen. Voor enkelen een uitdaging, maar voor velen onbeklimbaar door een gebrek aan training, zoals ook de beklimming van de Mount Everest niet is aan te raden op wandelschoenen.

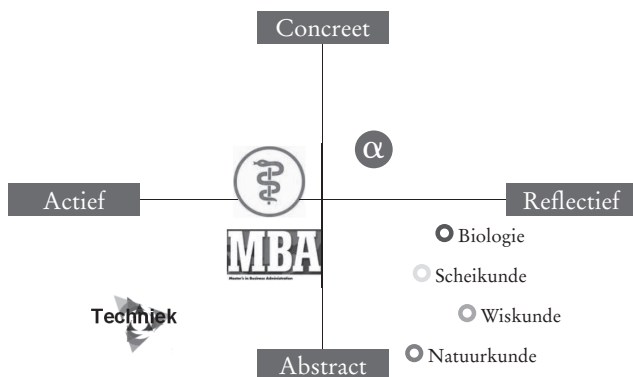
In mijn opinie is er geen goede reden het onderwijs zo in te richten. En het is ook niet verstandig. In onze maatschappij is het wenselijk, of eigenlijk noodzakelijk, dat leerlingen van basisschool en in de onderbouw van de middelbare school een goede opleiding in de natuurwetenschap en de wiskunde krijgen. In Angelsaksische landen heet dit *scientific literacy*. Bij *scientific literacy* gaat het om een breed pakket van competenties waarmee leerlingen inzicht krijgen in de wetenschappelijke denk- en werkwijze en een beeld krijgen van de betekenis van de wetenschap in de moderne maatschappij. Door de lat voor *scientific literacy* in het basisonderwijs en de onderbouw wat hoger te leggen, en nog wat door te laten lopen in klas vier, zou de knik in de overgang van klas drie naar vier minder

scherp kunnen zijn. Dit sluit aan bij wat de profielcommissie in het ontwerpadvies *Bruggen tussen Natuur en Maatschappij* bepleit.³⁸

TWEE DIMENSIES VAN LEREN

Dan de keuze van contexten. Wat de leercyclus van Kolb verbeeldt is dat er twee dimensies van leren zijn. De eerste dimensie wordt weergegeven door een lijn horizontaal getrokken tussen de polen actief experimenteren en reflectief observeren. Dat is de lijn van de leeractiviteiten, van leren door doen, het ervaringsleren. ‘Doen is begrijpen’, adverteert een MBA-opleiding in de krant. De tweede dimensie is de verticale lijn van concreet naar abstract, ofwel van context naar concept. Dit is de dimensie van het conceptueel leren. Concepten kunnen in het algemeen niet alleen door eigen leeractiviteiten verworven worden, maar vergen instructie en begeleiding.

David Kolb ontwikkelde dit dimensiemodel naar aanleiding van onderzoek dat hij uitvoerde bij managers en managementstudenten van de universiteit van Massachusetts. Tegenwoordig is hij hoogleraar Organizational Behavior aan de Case Western Reserve University, Cleveland. De twee assen spannen een tweedimensionale ruimte op waarin volgens Kolb verschillende herkenbare leerstijlen gepositioneerd kunnen worden.³⁹ Kolb heeft veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen de leerstijl van personen die hij testte en hun beroep en opleiding. Over het algemeen plaatste hij mensgerichte en ervaringsgerichte beroepen in de bovenste helft van het diagram met de medische beroepen onder in het linker bovenkwadrant. De technische en zakelijke beroepen met de wiskunde en de natuurwetenschappen groeperen zich niet onverwacht in de onderste helft.



De exacte coördinaten doen er niet zo veel toe, maar het geeft wel een beeld van de verschillen tussen verschillende beroepsgroepen en wetenschapsgebieden. Het hoeft dan ook niet te verbazen dat er verschillen zijn in de voorkeuren voor onderwijsmethoden. Sommige vakgebieden liggen dicht tegen de as van het ervaringsleren zoals de medische professie. In dat licht is het te begrijpen dat het Probleem Gestuurd Onderwijs (PGO) als onderwijsvorm succesvol is aan de Maastrichtse Universiteit en elders. Wiskunde en natuurkunde hebben hun zwaartepunt aan de kant van de abstractie. Bij een vak als wiskunde slaat een onderwijsvorm als PGO niet aan. Het ‘horizontaal mathematiseren’, het gebruik van wiskundige middelen om de wereld om ons heen te organiseren, zonder ‘verticaal mathematiseren’ waarin het bouwwerk van de discipline ontstaat door abstractie schiet het doel voorbij.⁴⁰ Scheikunde en biologie liggen weer dicht bij de ervaringsas. Bij biologie wordt het belang onderstreept van handelingspraktijken in het onderwijs die een hoge realiteitswaarde hebben.⁴¹

THE CONTEXT OF PHYSICS IS SCIENCE

Het is natuurlijk maar een sjabloon. Toch geeft naar mijn mening het dimensiemodel van Kolb inzicht in de didactiek van de context-concept benadering. De basis van deze aanpak is het gebruik van contexten als bijdrage aan de leerbaarheid en de toepasbaarheid van de natuurdisciplines. Contexten dienen aan te sluiten bij voor leerlingen herkenbare situaties uit leefwereld, maatschappij of wetenschap. Deze situaties dienen als bron voor de ontwikkeling van vakconcepten, waarbij leerlingen op een andere, meer wetenschappelijke manier, leren kijken naar bepaalde verschijnselen. Daarmee wordt ook voor leerlingen het belang duidelijk van een wetenschappelijke zienswijze en van de concepten die daarbij nodig zijn. De vraag is, werkt het ook zo?

Een van de valkuilen van het contextgerichte onderwijs is dat krampachtig wordt geprobeerd de natuurwetenschap zo veel mogelijk te plaatsen in alledaagse situaties. In 2000 schreven Robbert Dijkgraaf, Ed van den Heuvel, Gerard 't Hooft en Ad Lagendijk over het eindexamen natuurkunde⁴²: 'Het is natuurlijk prijzenswaardig dat de brede toepasbaarheid van de natuurkunde benadrukt wordt en dat er gewezen wordt op het grote nut voor de maatschappij. Maar er wordt hier ook een belangrijk didactisch punt over het hoofd gezien. Zelfs de elementairste natuurkunde kan heel moeilijk worden wanneer men deze op alledaagse situaties als fietsbanden, remwegen en ozonlagen wil toepassen. Bij dit soort praktijksituaties komen namelijk veel ogenschijnlijk bijkomstige zaken kijken, zoals materiaal-eigenschappen en niet meegerekende verliezen, die de fysische redenatie vertroebelen.' De schrijvers vervolgen: 'Afgaande op dit eindexamen rijst daarom de vraag of de huidige benadering van het natuurkundeonderwijs erin

slaagt om enerzijds de algemeen geïnteresseerde leerling een goede indruk te geven wat de natuurkunde nu zo boeiend en nuttig maakt, en anderzijds de zo dun gezaaide bètadenkers aan te moedigen verder over de natuurkunde na te denken.' The *very quotable* Vincent Icke zegt: 'Ik weet niet wie op het idee is gekomen om natuurkunde te onderwijzen aan de hand van ervaringen uit het dagelijks leven. Dat is maar goed ook, want met die onnozele hals heb ik een zeer hardgekookt eitje te pellen.'⁴³

Het is dus van belang goed na te denken over wat een goede context is voor een gegeven onderwerp. Boekauteurs en leraren geven daar al op allerlei manieren invulling aan. Op de jaarlijkse Woudschoten-conferentie voor natuurkundeleraren valt op hoeveel creatieve ingangen gevonden worden om natuurkunde uit te leggen. En sommige contexten liggen ook erg voor de hand zoals sterrenkunde als context voor natuurkunde. Er zijn ook goede redenen om contexten buiten het eigen vakgebied te nemen; veel van het huidige onderzoek vind plaats op grensgebieden tussen disciplines en een deel van het belang van de natuurwetenschap en de wiskunde wordt ontleend aan maatschappelijke toepassingen. Een *science-literate person* wordt geacht iets te begrijpen van de natuurverschijnselen en de technologie in de wereld om ons heen.⁴⁴

CONCEPTEN

Maar er blijft een probleem. Didactisch onderzoek, evaluaties en ervaring van leraren hebben intussen genoegzaam aangetoond dat het introduceren van contexten, hoe ook gedefinieerd, niet als vanzelf de leerresultaten van leerlingen positief beïnvloeden. De reden daarvoor is dat contextgeoriënteerd onderwijs wel een goed beginpunt creëert, maar op zich niet voldoende is voor een hoog leerrendement.

Ook de ervaringen de laatste vijftien jaar in het Nederlandse wiskundeonderwijs wijzen daarop. De slogan ‘Realistisch wiskundeonderwijs’ is zelfs in brede kring bekend en berucht geworden. Bijna een halve eeuw geleden betoogde de Utrechtse wiskundige en didacticus Hans Freudenthal al dat de opbouw van wiskundeonderwijs aan de hand van een aantal toepassingen leidt tot de slechts toepasbare wiskunde.

Een belangrijk didactisch probleem bij het werken met contexten is dat leerlingen de vakconcepten uiteindelijk ook buiten de leercontext moeten kunnen gebruiken. Concepten moeten dus gegeneraliseerd en gedecontextualiseerd worden. Als de afstand tussen context en het beoogde begrip te groot is zal het leren in de context zelf blijven hangen. Een maat voor die afstand kan ontleend worden aan het dimensiediagram van Kolb. Het is bijvoorbeeld te verwachten dat een medische context, als toepassing van de natuurkunde zeer belangrijk, toch vanwege de relatief grote afstand tot de abstracties van de natuurkunde weinig zal bijdragen aan conceptuele kennis. Leerlingen moeten juist afstand doen van concepties die refereren aan de eigen belevingswereld en die vervangen door die van de wetenschap. Dan kan een gestileerde didactische probleemstelling als context een beter middel zijn om het inzicht te bevorderen, dan de complexiteit van een authentieke context.

Decontextualisatie kan alleen plaatsvinden in kleine stappen. Ook een gestileerde context moet aansluiten bij de voorkennis en ervaring van de lerende. Voor beginners ligt die dicht bij de dagelijkse ervaring. Er is in de jaren '80 en '90 veel onderzoek verricht naar het optreden van misconcepties, zoals de naïeve aan de dagelijkse ervaring gerelateerde concepties vaak worden genoemd, maar die in feite neerkomen op een andere perceptie van de werkelijkheid. De

voorbeelden zijn talloos; ik noemde al de voorbeelden ‘energie’ en ‘stroomverbruik’. De natuurwetenschap geeft daarbij vaak de indruk het gelijk onomstotelijk aan haar zijde te hebben. Zoals Galilei Galileo volhield, ‘Eppur si muove’, hoewel hij daarvoor in zijn tijd eigenlijk geen enkel overtuigend bewijs had. Een welles-nietes discussie is hier contraproductief; beter is als uitgangspunt te kiezen dat de natuurwetenschap en de wiskunde menselijke activiteiten zijn en dat de principes die zijn ontstaan het product zijn van menselijke creativiteit en dat die principes ook kunnen veranderen in de tijd. ‘Science is a free invention of the human intellect’ in de woorden van Albert Einstein.

Mijn conclusie van het voorafgaande is eigenlijk kort samen te vatten: onderwijs vanuit contexten is een potentieel krachtig instrument om motivatie en begrip te kweken voor natuurwetenschap; *learning science* kan niet zonder *learning about science*. Wil een context echter een leereffect hebben, dan moet de didactische afstand niet te groot zijn. Maar ook niet te klein; natuurkunde moet niet willen een geïsoleerd punt te zijn in de Kolb-ruimte. Voor wie zou willen volhouden dat contexten en ‘echte natuurkunde’ elkaar niet verdragen citeer ik nog maar eens een uitspraak van Albert Einstein: ‘Concepts are simply empty when they stop being firmly linked to experiences. They resemble social climbers who are ashamed of their origins and want to deny them.’

DE ROL VAN DE LERAAR

Dit brengt mij tot mijn laatste punt: de rol van de leraar. In Nederland staat op dit moment de kwaliteit van het onderwijs breed in de belangstelling. Bij velen leeft het gevoel dat het onderwijs, in het bijzonder het middelbaar onderwijs sterk is afgegleden de laatste twintig jaar, door onder-

wijshervormingen, door uitholling van de positie van de leraar, en door maatschappelijke en culturele veranderingen die gevolgen hebben gehad voor de verhouding jeugdschool en onderwijs. Een niet te onderschatten aspect hiervan is volgens Thomas Ziehe, hoogleraar Pedagogiek aan de universiteit van Hannover en nog onlangs op bezoek bij de UvA, dat voor jongeren de populaire cultuur de leidende cultuur is geworden. De wereld van beelden, populaire muziek en computerspellen, de componenten van de consumptiecultuur, zijn wereldwijd geaccepteerd geraakt en de dominante cultuur geworden.⁴⁵

Dit is niet de inleiding voor een cultuurpessimistisch betoog, maar een realiteit die volgens Ziehe gevolgen heeft voor de ontwikkeling van het abstractievermogen dat zo belangrijk is voor het begrijpen van de natuurwetenschap en de wiskunde. De dominantie van de popcultuur maakt dat de eigen wereld van het individu de norm is geworden, de bron van criteria om vast te stellen wat interessant, relevant en fascinerend is, en om keuzes te maken. Jongeren hebben hun eigen culturele referentiekader geschapen. Het voordeel van die verandering is vrijheid. Het nadeel is dat de afstand tot andere domeinen, tot de wereld van kennis en objecten, en ook tot de leraar en het instituut school, groter is geworden.

Naar de mening van Ziehe is in deze omstandigheden de rol van leraren belangrijker dan ooit, zeker in de bètavakken, omdat daar de afstand het grootst is tussen de 'informele' dagelijkse wereld gedomineerd door de drie g's: gemak, genot, gewin, en het 'formele' natuurwetenschappelijke wereldbeeld. De leraar is daartussen de brug. Maar hij moet begrijpen dat zijn vak voor een leerling een vreemde wereld is en dat een leerling zich daarover onzeker voelt. Volgens Ziehe is het de unieke taak van de leraar om de

leerling binnen te leiden in deze onbekende en te ontdekken gebieden. De leraar is als een gids die de leerlingen als toeristen rondleidt in een vreemde wereld, *Sinnwelten* in zijn woorden.

Langzaam worden de regels en structuren van de vreemde wereld zichtbaar met regels en routines die vastigheid bieden. Het perspectief van de eigen opvattingen over de wereld verschuift langzaam, heel langzaam, naar de natuurwetenschappelijke opvattingen. De laatste stap is de verinnerlijking van de structuren: het proces om heel systematisch en gericht leerlingen te helpen om een samenhangend netwerk op te bouwen van begrippen, methoden en situaties in hun lange-termijn geheugen. In Ziehe's woorden is de voorwaarde daarvoor:⁴⁶ 'Das temporäre Verweilen in fremden Welten ist um so eher aushaltbar, je mehr cognitive Regale zur Verfügung stehen, um neu Gelerntes einordnen zu können'. Begrip is het ordenen van kennis op *cognitive Regale*; de kenniskast die stap voor stap opgebouwd moet worden. Daar is hulp van een timmerman bij nodig.

VAKKENNIS

Vakkennis van leraren in de breedste zin blijft de hoeksteen voor goed (bèta-)onderwijs zo treffend verwoord door Robert Karplus: 'I believe that people become vitally interested in their studies and learn best when direction and guidance from a source of authority are combined with ample opportunities for students to direct and control their own learning.'⁴⁷ De leraar als *source of authority* blijft de spil waar het om draait. De noodzaak hiervoor is door velen beargumenteerd, nog laatst door Frits van Oostrom in een welsprekend pleidooi om te investeren in inspirerende docenten.⁴⁸

Maar maatschappelijk is dit nog niet voldoende verankerd. Er is weliswaar sinds 1 augustus 2006 een wettelijk kader, de wet-BIO, dat staat voor de ‘wet op de beroepen in het onderwijs’ die een aantal zaken regelt rondom de waarborgen voor de professionaliteit van leraren, maar juist op dit cruciale punt zijn de criteria zwak. De wet maakt helaas niet de stap naar een beroepsregister zoals die in de wet-BIG voor de medische beroepen wel is gezet. Ik denk dat dat een omissie is waarin dringend voorzien moet worden. De leraren vormen zo langzamerhand een van de zeldzame beroepsgroepen die niet werken met een eigen professionele standaard. Daarin zouden zaken geregeld moeten zijn ten aanzien van beroepskwalificaties en vakinhoudelijke kennis, bijvoorbeeld welke eisen worden gesteld aan kennis en bijscholing op het vakgebied. Het bestaan van zo’n standaard zou leraren een troef in handen geven om tijd te bedingen voor deskundigheidsbevordering gekoppeld aan een functiewaardering.

De universiteiten en hogescholen kunnen naar mijn mening daaraan een grote bijdrage geven door te investeren in nieuwe arrangementen met scholen en lerarenopleidingen die leraren daadwerkelijk mogelijkheden bieden om op hun vakgebied hun kennis aan te scherpen en inspiratie op te doen. Een hernieuwd leraarschap dat geplaatst is in de context van persoonlijke groei en maatschappelijke erkenning.⁴⁹ Dit lijkt me het moment om met een breed initiatief te komen om hieraan uitvoering te geven. De kop in het NRC dat in Nederland het leraar zijn ‘geen vak meer is voor academici’⁵⁰ zou voldoende alarmerend moeten zijn. Zonder een dergelijk initiatief zal het opleidingsniveau van het onderwijsgevende personeel de komende jaren vermoedelijk verder dalen door gebrek aan interessante onderwijsfuncties aan de bovenkant van de carrière ladder.⁵¹ Nieuwe arrangementen, zoals het recente initiatief van de

UvA, VU, HvA en de hogeschool In-Holland voor een structurele samenwerking met scholen in het voortgezet onderwijs in de ITS-Akademie kunnen naar mijn mening een belangrijke positieve bijdrage te leveren om deze trend te keren.

SLOTWOORD

Met mijn beschouwing vanmiddag heb ik geprobeerd de traditie en de vernieuwing van het onderwijs in de bètavakken met elkaar in evenwicht te brengen. De traditie wordt gevormd door de concepten en de fundamentele natuurwetten die in de natuurkunde corresponderen met onveranderlijke symmetrieën van de natuur. De noodzaak voor verandering komt voort uit de dynamiek in de vakgebieden en in de maatschappij. De relatie tussen dynamische veranderingen, enerzijds, en statische invariantie-principes, anderzijds, heeft mij gedurende mijn wetenschappelijke loopbaan altijd gefascineerd.

Ik heb betoogd dat de docent in de natuurwetenschappelijke vakken moet leven met een spanning tussen dynamiek en traditie, die mogelijk nu groter is dan in het verleden. De verbeelding daarvan is een tweedimensionale ruimte, waarin de leraar enerzijds de leeractiviteiten van de leerlingen motiveert en faciliteert en anderzijds fungeert als overdrager van de conceptuele kernstructuur van het vak. Die kernstructuur kunnen leerlingen niet zelf ontdekken. Niet met Google in ieder geval, of een andere passieve bron, maar wie weet wel met Second Life. Een leerling zou daar een avatar kunnen kiezen gemodelleerd naar een ideaaltypische bèta en dan op zoek gaan naar de avatar van een ideaaltypische leraar. Ik begrijp dat in Second Life ook naar de ideale liefde wordt gezocht, dus waarom niet.

Second Life is ook een symbool voor de toekomst die al begonnen is op de middelbare school. De keuzen die leerlingen daar maken zijn nu eenmaal bepalend voor de toekomst van de universiteit. Die gaat mij zeer ter harte. Mijn werkzame leven heb ik mij mogen bewegen in het universitaire onderwijs en onderzoek. De Universiteit van Amsterdam en de faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica hebben mij daarvoor een inspirerende leeromgeving geboden.

Het College van Bestuur en de decaan van de faculteit, professor Karel Gaemers, ben ik erkentelijk voor het gestelde vertrouwen en de mogelijkheid die mij is geboden nog enige tijd aan de universiteit en faculteit verbonden te zijn.

Ik heb gezegd.

REFERENTIES

- 1 Alice Calaprice (ed.), *The new quotable Einstein*, Princeton University Press (2005)
- 2 Vincent Icke, *The force of symmetry*, Cambridge University Press (1995)
- 3 Vincent Icke, *Krachten, wat iedereen voelt en niemand begrijpt*, Uitgeverij Veen (2005)
- 4 VHTO-brochure, *Meisjes als potentieel voor bètatechniek*, Landelijk expertisebureau meisjes/vrouwen en bèta/techniek, november (2006)
- 5 Annemarie van Langen, *Unequal participation in mathematics and science education*, proefschrift Radboud Universiteit Nijmegen (2005)
- 6 OECD, *Education at a Glance*, Indicators (2005)
- 7 Inspectie voor het Onderwijs, *De Staat van het Onderwijs*, Onderwijsverslag, april (2004)
- 8 Commissie Vernieuwing Scheikunde Havo en Vwo, *Chemie tussen context en concept*, SLO (2003)
- 9 Klaas Landsman, *No pain, no gain*, Universum Lezing, Utrecht, november (2005)
- 10 Sheila Tobias, *They are not dumb, just different*, Tucson: Research Corporation (1990)
- 11 Eric Mazur, *Peer Instruction, A user's Manual*, Prentice Hall (1997)
- 12 Toni Feder, *More Physics in High Schools*, Physics Today, March (2007)
- 13 Randall D. Knight, *Five Easy Lessons, Strategies for Successful Physics Teaching*, Addison-Wesley (2004)
- 14 Bales Cone, *National Training Laboratories*, Bethel, Maine, USA, Audiovisual Methods in Learning (1969)
- 15 Nataša Brouwer en Marjon Engelbarts e.a., *Interactief bètaonderwijs*, Ervaringen uit de praktijk, Stichting Surf (2004)
- 16 Gerard Westhoff, *Competentiegericht leren en de vakdocent*, lezing UvA Onderwijsconferentie, oktober (2005)
- 17 Randall D. Knight, *op.cit.* p 7
- 18 Thijs Jansen, Gerrit de Jong en Ab Klink (red.), *De Nieuwe schoolstrijd!*, Christen Democratische Verkenningen, Boom Tijdschriften, (2006)

- 19 Lizzy Tabbers, *Zelfstandig kind vraagt andere onderwijsvormen*, Volkskrant, 11 januari (2007)
- 20 Greetje van der Werf, *Leren in het studiehuis, consumeren, construeren of engageren?* Oratie, Rijksuniversiteit Groningen (2005)
- 21 Greetje van der Werf, in: *De Nieuwe schoolstrijd!*, op.cit. p 92
- 22 Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs Havo/Vwo, *Natuurkunde Leeft*, visiedocument (2006)
- 23 J.D. Bransford, A.L. Brown, R.R. Cocking (eds), *How People Learn; Brain, Mind, Experience and School*, National Academy Press (2000)
- 24 Martin Goedhart, *Voorbereiden op wetenschapsbeoefening*, Oratie Rijksuniversiteit Groningen (2006)
- 25 John Horgan, *The End of Science*, Helix Books (1996)
- 26 John Maddox, *What remains to be discovered*, Touchstone (1998)
- 27 H.M.C. Eijkelhof en K. van der Veen, *Werken met contexten in het natuurkundeonderwijs*, Uitgeverij NIB Zeist (1989)
- 28 Judith Bennett e.a., *A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science*, EPPI-Centre, Institute of Education, University of London (2003)
- 29 Chris van Weert, *De context van de Nieuwe Natuurkunde*, NTvN, 72-4 (2006)
- 30 Jeroen Hendriksen, *Cirkelen rond Kolb*, Uitgeverij Nelissen (2005)
- 31 Robert G. Fuller (ed.), *A Love of Discovery, Science Education -The second career of Robert Karplus*, Kluwer Academic / Plenum Publishers (2002)
- 32 Sacha La Bastide-van Gemert, 'Elke positieve actie begint met kritiek', *Hans Freudenthal en de didactiek van de wiskunde*, Uitgeverij Verloren (2006)
- 33 A.E. Lawson, in: *A love of Discovery*, op.cit. p 51
- 34 Luc Stevens in: *De Nieuwe schoolstrijd!*, op.cit. p 95
- 35 Gerard Alberts en Rainer Kaenders, *Ik liet de kinderen wél iets leren*, Interview met Pierre van Hiele, Nieuw Archief voor de Wiskunde, september (2005)
- 36 Niki Korteweg, *Leren van het brein*, interview met Jelle Jolles, NRC, 28 januari (2007)

- 37 Margriet van der Heijden en Lex van de Oudeweetering, *Waar komt de regenboog vandaan?* Uitgeverij het Spectrum (2006)
- 38 Profielcommissie NT, NG, EM, CM, *Bruggen tussen Natuur en Maatschappij*, Ontwerpadvis (2006)
- 39 Jeroen Hendriksen, *op.cit.* p 44
- 40 Commissie Toekomst Wiskundeonderwijs, *Rijk aan betekenis*, Visiedocument (2007)
- 41 Commissie Vernieuwing Biologieonderwijs, *Vernieuwd Biologieonderwijs van 4 tot 18 jaar*, Basisdocument (2005)
- 42 Robbert Dijkgraaf, Ed van den Heuvel, Gerard 't Hooft, Ad Lagendijk, *Eindexamen Natuurkunde 2000*, verschenen op Kennisnet (2000)
- 43 Vincent Icke, *Krachten, wat iedereen voelt en niemand begrijpt*, *op.cit.* p 7
- 44 Jo Hermans, *Hoor je beter in het donker?* Uitgave Bètatext (2006)
- 45 Sarah Blom, *Tussen oud en nieuw*, interview met Thomas Ziehe, NRC, 30 december (2006)
- 46 Thomas Ziehe, *Pädagogische Professionalität und zeittypische Mentalitätsrisiken*, CSP Conference (2004)
- 47 Robert Karplus, *Response by the Oersted Medalist: Autonomy and Input*, American Journal of Physics 49, 811-814 (1981)
- 48 Frits van Oostrom, *Een zaak van alleman*, Vossiuspers UvA (2007)
- 49 Robbert Dijkgraaf, *Verlanglijstjes*, NRC, 9 december (2006)
- 50 Maarten Huygen, *Leraar is helaas geen vak meer voor academici*, NRC, 27 mei (2006)
- 51 Ria Vogels en Ria Bronneman-Helmers, *Wie werken er in het onderwijs?* Sociaal en Cultureel Planbureau (2006)

$$Z[j] = \int \mathcal{D}\phi \exp i \int_C d^4x [\mathcal{L}(x) + j(x)\phi(x)]$$