

## Leren voor later : toekomstgericht science- en techniekonderwijs voor de basisschool

**Citation for published version (APA):**

Gravemeijer, K. P. E. (2009). *Leren voor later : toekomstgericht science- en techniekonderwijs voor de basisschool*. Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/2009

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Intreerede  
prof.dr. Koeno Gravemeijer  
20 maart 2009

**ESoE**  
Eindhoven School of Education

  
**Fontys**  
Hogescholen

**TU** / **e** Technische Universiteit  
**Eindhoven**  
University of Technology

# Leren voor later

Where innovation starts

**Intreerede prof.dr. Koeno Gravemeijer**

---

# **Leren voor later**

**Toekomstgericht science- en techniekonderwijs voor de basisschool**

**Uitgesproken op 20 maart 2009  
aan de Technische Universiteit Eindhoven**



# Inleiding

Op dit moment kampen we met de economische gevolgen van de kredietcrisis. Maar volgens experts biedt de crisis ook kansen. Nederland zou volgens sommigen zelfs sterker uit de kredietcrisis kunnen komen. Een van hen is Jan Kamminga, de voorzitter van de Vereniging FME-CWM, de ondernemersorganisatie voor de technologisch-industriële sector. Op de vraag van een reporter van Business Nieuws Radio of het niet heel moeilijk wordt om te concurreren met lagelonenlanden als China en India, antwoordt hij dat wij het niet van lage lonen moeten hebben.<sup>1</sup> Wij moeten het hebben van *nieuwe producten, slimmer werken, een hogere productiviteit en slimmer vervoeren*. Ook de Nederlandse overheid ziet het antwoord op de mondiale uitdagingen in innovatie en heeft daarom het Innovatieplatform opgericht. In samenhang daarmee wordt ook geïnvesteerd in onderwijs. Er moeten meer hogeropgeleiden komen en meer leerlingen moeten gaan kiezen voor bètaopleidingen en bètaberoepen. Daarbij lijkt stilzwijgend te worden aangenomen dat de inhoud van het primair en secundair onderwijs niet wezenlijk hoeft te veranderen. Al wijst de Onderwijsraad recentelijk wel op de wenselijkheid van een debat over de inhoud van het onderwijs.<sup>2</sup>

Daarmee kom ik aan de kern van waar ik het vandaan over wil hebben, namelijk dat de inhoud van het funderend onderwijs wel degelijk moet veranderen. Ik richt me daarbij specifiek op het science- en techniekonderwijs in de basisschool. Onder science versta ik hier de natuurwetenschappen. Ik ga eerst in op de noodzaak van science- en techniekonderwijs dat de leerlingen voorbereidt op de informatiemaatschappij en de *global economy*. Vervolgens bespreek ik drie kenmerken van science- en techniekonderwijs dat die functie kan vervullen.

## Globale competitie

Mijns inziens is er een fundamentele bezinning nodig op de vraag of het huidige onderwijs wel optimaal is ingericht voor het opleiden van mensen die nieuwe producten bedenken, slimmer werken, productiever zijn en slimmer vervoeren. Alleen dan kunnen de leerlingen van nu, in de toekomst profiteren van de kansen die Kamminga en anderen voor onze economie zien. Zij zullen het uiteindelijk moeten

---

<sup>1</sup> Radio-interview op 11 januari 2009.

<sup>2</sup> Onderwijsraad (2009). Stand van educatief Nederland 2009. Den Haag: Onderwijsraad.

doen, zij zullen slimmer, productiever en creatiever moeten zijn, anders wordt hun plaats ingenomen door iemand uit India of China. Het volgende citaat van een Britse bedrijfsleider illustreert dat:

“We’re opening up a centre for analysis in India, where I’ll expect to pay the graduates thirty percent of what I pay them here. So conversely if I were to pay a graduate in this country three times of what I pay graduates in India I would expect something out of that person for that salary. Without that it will be difficult to sustain activity over here.”<sup>3</sup>

Dit citaat komt uit een onderzoek naar de vaardigheden die het Britse bedrijfsleven van pas afgestudeerde ingenieurs verwacht. Naast technische kennis en vaardigheden worden in dit onderzoek zaken genoemd als probleem oplossen, praktische intelligentie, creativiteit, kritisch denken, samenwerken en klantgerichtheid. Technische oplossingen zullen veel meer in overleg met de klant en met betrokken burgers ontwikkeld moeten worden. De rol van de ingenieur verandert daarmee van ontwerper naar mede-eigenaar van het zoekproces. Omgekeerd vraagt dit van klanten en geëngageerde burgers de nodige technisch-wetenschappelijke geletterdheid.

### Routinetaken verdwijnen

Dit is niet een kwestie die alleen het hoger onderwijs aangaat. De veranderingen die zich nu voltrekken raken het onderwijs op alle niveaus. Economisch onderzoek van Levy en Murnane<sup>4</sup> laat zien dat taken die kunnen worden opgesplitst in routines, die zonder al te veel variatie herhaald kunnen worden, verdwijnen.

Deze worden overgedragen aan computers, of uitbesteed aan lagelonenlanden. Het internet maakt het bovendien heel gemakkelijk om informatie uit te wisselen. Hierdoor kunnen ook taken in de sfeer van de zakelijke dienstverlening naar het buitenland worden verplaatst. De *outsourcing* beperkt zich dus niet meer tot fabrieksarbeid, ook meer cognitieve taken worden nu uitbesteed. We kunnen hierbij bijvoorbeeld denken aan *call centers*, en aan het werk van accountants en computerprogrammeurs.

Nu is het volgens Levy en Murnane niet zo dat er alleen maar banen overblijven die een hoge opleiding vragen. Banen die niet terug te brengen zijn tot routines of die veel directe persoonlijke contacten vragen, blijven. Maar de inhoud van het werk verandert wel. Taken van secretaresses bijvoorbeeld, zijn verschoven van

---

<sup>3</sup> Spinks, Silburn, and Birchall, 2007, p.p. 330

<sup>4</sup> Levy en Murnane, 2006, zie ook Autor, Levy, & Murnane, 2003.

typewerk naar het plannen van vergaderingen, het voeren van de administratie en andere complexe taken. Van productiemedewerkers wordt verwacht dat ze leren omgaan met allerlei computerbestuurde machines.

De overblijvende banen vragen naast sociale vaardigheden, flexibiliteit, creativiteit en een blijvend leren. Bij dit leren zal het veelal gaan om leren werken met computers of gecomputeriseerde apparatuur. Denk bijvoorbeeld aan de manager van een kledingwinkel die een softwarepakket gebruikt om de toekomstige vraag naar kleding te voorspellen. Of de medewerker van de bakkerij die de productie in de gaten houdt aan de hand van digitale meterstanden. In de meeste gevallen doet gecomputeriseerd gereedschap het eigenlijke rekenwerk, maar wie het onderliggende model niet begrijpt, is kwetsbaar voor beoordelingsfouten.

De onderzoekers verwachten dat deze trend doorzet. Hun collega's Goos & Manning<sup>5</sup> wijzen erop dat hierdoor met name banen in het middensegment verdwijnen. Een ontwikkeling die zich in het Verenigd Koninkrijk al voordoet. Zij spreken in dit verband van een tweedeling die zich aftekent tussen '*lovely jobs*' en '*lousy jobs*'. Nu is het niet zo dat werk dat weinig scholing vraagt automatisch onaangenaam of *lousy* zou moeten zijn. Maar door het wegvallen van banen in het middensegment zullen steeds meer mensen zijn aangewezen op laag geschoold werk. Dat leidt tot slechtere betaling en slechtere arbeidsvoorwaarden.

Nu dateert het onderzoek van Goos en Manning wel van voor de kredietcrisis. Veel van de *lovely jobs* in de UK zullen zich in de sector van de financiële dienstverlening hebben bevonden; die staat er nu minder florissant voor. Blijft, dat er tal van banen zullen verdwijnen. En, dat het gevaar bestaat dat steeds meer mensen zullen zijn aangewezen op banen in het laagste segment. Om dit tegen te gaan zullen we het onderwijs zo moeten inrichten dat meer mensen op een internationaal competitief niveau mee kunnen doen. Dat wil zeggen effectief, creatief en sociaal kunnen functioneren in een economie waarin science en techniek een belangrijke rol spelen. Dit vraagt science- en techniekonderwijs voor iedereen, dat alle leerlingen voorbereidt op zinvol participeren in de informatiemaatschappij. Wanneer we willen dat alle leerlingen hiervan profiteren, zal daar in het basisonderwijs mee moeten worden gestart. De vraag is dan hoe we het science- en techniekonderwijs in de basisschool zo goed mogelijk kunnen richten op dit 'leren voor later', opdat we de leerlingen beter equiperen voor de maatschappij van morgen. Daar wil ik me in het vervolg van dit betoog op richten.

---

<sup>5</sup> Goos & Manning (2003).

### **Meer dan werkgelegenheid alleen**

Voor ik inga op hoe dit science- en techniekonderwijs er uit zou moeten zien, wil ik eerst nog enkele kanttekeningen maken bij het zojuist geschetste, economisch gekleurde, toekomstperspectief. De eerste is dat het streven om welvaart en werkgelegenheid voor ons land te behouden niet noodzakelijkerwijs ten koste hoeft te gaan van de opkomende economieën. In plaats van te proberen om hetzelfde beter te doen, kunnen we ons richten op het ontwikkelen van nieuwe producten en technieken die een toegevoegde waarde hebben en waar iedereen van kan profiteren. Zo kunnen innovaties zich bijvoorbeeld richten op duurzaamheid of kennisontwikkeling. Ik zou daar aan willen toevoegen dat er meer dan alleen economische argumenten zijn om in science- en techniekonderwijs te investeren. ‘Duurzaamheid’ biedt zo’n argument. Science en techniek kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan een beter milieu, via schonere energie, milieuvriendelijke productie en door toepassingen in de gezondheidszorg. Dit kan ook een reden zijn om voor een bètaopleiding te kiezen.

Een tweede punt betreft de culturele betekenis. Science en techniek hebben niet alleen de wereld waarin wij leven veranderd, maar ook de manier waarop wij de wereld zien. We weten nu bijvoorbeeld dat ziekten veroorzaakt worden door micro-organismen, die onzichtbaar zijn voor het blote oog. Dat alle plant- en diersoorten die we kennen zijn voortgekomen uit eenvoudiger organismen. Dat de stoffen, die we om ons heen zien, bestaan uit verschillende combinaties van een beperkt aantal deeltjes. Dat we leven op een grote rotsachtige bol die een hete kern heeft en die om de zon cirkelt. En dat het heelal is ontstaan in een reusachtige explosie.<sup>6</sup>

We weten echter ook dat science en techniek niet alleen waardevolle inzichten en aantrekkelijke toepassingen biedt, maar ook kan leiden tot negatieve effecten. Het is daarom van groot belang dat zoveel mogelijk burgers betrokken raken bij de besluitvorming rond de inzet van science en techniek. Beslissingen over kolencentrales, windmolens, zonne-energie en biobrandstof bijvoorbeeld, zijn zaken die alle burgers aangaan. De leerlingen zullen dus moeten worden voorbereid op het effectief participeren in de democratische besluitvorming. Dat vraagt naast bepaalde kennis en inzichten op het gebied van science en techniek en een open oog voor de nadelen en mogelijke gevaren van toepassingen van science en techniek, ook belangstelling voor de wereld van science en techniek.



Op dit moment is de wereld van science en techniek voor veel mensen nog een vreemde wereld, waar zij zich niet thuis voelen. Gebrek aan affiniteit met de bèta-cultuur werpt drempels op, die bepaalde groepen zoals vrouwen en bepaalde minderheden uit niet-westerse culturen, uitsluiten van participatie.

# Kenmerken van science- en techniekonderwijs

De titel van mijn rede luidt ‘leren voor later’. Dat leren voor later moet nu gebeuren. Hoe beter we de leerlingen nu voorbereiden, hoe meer kans ze later maken. Er is echter nog een grote afstand tussen de hierboven geschetste rol van het vak science en techniek en de rol die het vak nu in het basisonderwijs speelt. Daar neemt dit vak een marginale positie in. Er wordt slechts een uur per maand aan science- en techniekonderwijs besteed,<sup>7</sup> terwijl er een veelheid van inhoudelijke onderwerpen is die aan de orde zouden kunnen of moeten komen. Bovendien hebben veel leraren een negatieve attitude tegenover science en techniek, weinig ervaring, onvoldoende kennis en een daarmee gepaard gaand gebrek aan zelfvertrouwen.<sup>8</sup> Om aan dit laatste probleem tegemoet te komen is een nationale professionaliseringsoperatie gestart. Ik kom daar later op terug. Om aan het tijdsprobleem tegemoet te komen wordt getracht science- en techniekactiviteiten te integreren met andere vakken.<sup>9</sup> Daarnaast wordt geprobeerd om meer structuur in de leerstof aan te brengen.<sup>10</sup> De huidige praktijk laat echter een beeld zien van versnippering en geïsoleerde activiteiten.<sup>11</sup>

Ik wil me hier echter niet richten op de precieze invulling van de leerstofonderdelen. Ik wil een andere ingang kiezen door wat meer afstand te nemen en te kijken naar algemene kenmerken van science en techniek. Om van daaruit te komen tot kenmerken van science- en techniekonderwijs dat basisschoolleerlingen voorbereidt op de informatiemaatschappij. Ik onderscheid daarbij drie aspecten die ik achtereenvolgens zal bespreken:

- visualiseren als kernactiviteit in science en techniek;
- het specifieke karakter van de bètacultuur;
- de rol van ICT.

---

<sup>7</sup> Inspectie van het Onderwijs, 2005.

<sup>8</sup> Kuijpers et al., 2007; Rohaan et al., 2008.

<sup>9</sup> Keulen, Ros, Eijck, & Gravemeijer, K., 2008.

<sup>10</sup> Zo maakt men een onderscheid naar verschillende systemen, natuurkundige systemen, levende systemen, aarde/ruimte systemen, techniek systemen, mathematische systemen en samengestelde systemen.

<sup>11</sup> Ros, 2007.

## Visualiseren als kernactiviteit in science en techniek

Natuurwetenschappers worden in cartoons op twee manieren afgebeeld: omgeven door allerlei instrumenten, of voor een bord vol diagrammen en formules. Blijkbaar wordt het werken met formules, symbolen, diagrammen en grafieken algemeen onderkend als een van de belangrijkste activiteiten van een wetenschapper. De wetenschapssocioloog Latour<sup>12</sup> vat alle symbolen, diagrammen en dergelijke samen onder de term ‘inscripties’. Het maken en gebruiken van inscripties wordt door hem ‘visualiseren’ genoemd. Dit visualiseren is volgens hem een belangrijk, zo niet het belangrijkste kenmerk van science en techniek. Visualiseren wordt door hem ruim opgevat. Het omvat zowel concrete afbeeldingen van planten en dieren, geografische kaarten en technische tekeningen, als meer abstracte schema’s en formules. We zouden ook van modelleren kunnen spreken, omdat elke inscriptie een reductie van de werkelijkheid met zich meebrengt, maar ik zal hier Latour volgen in het gebruik van de term visualiseren.

Om de rol van het visualiseren in science en techniek te begrijpen moet je volgens Latour niet alleen naar het visualiseren zelf kijken, je moet ook kijken naar de context waarin het maken en gebruiken van inscripties plaatsvindt. Waarom doet die wetenschapper dat? Wat wil hij of zij ermee? Inscripities zijn, volgens Latour, zo belangrijk omdat je ze kunt gebruiken als middel om kennis vast te leggen en te verspreiden, maar vooral ook als een middel om anderen te overtuigen.

Hij licht dit toe met een anekdote over de Franse ontdekkingsreiziger, La Pérouse. Maar voor ik de historie induik wil ik erop wijzen dat visualiseren niet iets uit vroegere tijden is. De rol van het visualiseren lijkt in deze tijd in feite alleen maar toe te nemen, dankzij alle apparaten waarmee je visuele representaties kunt produceren zoals digitale foto’s, MRI-scans, tabellen, grafieken, diagrammen en formules. Maar terug naar La Pérouse.

In 1787 brengt een van zijn ontdekkingsreizen hem in China. Hij komt terecht in Sakhalin en hij wil graag weten of dit Sakhalin nu een eiland of een schiereiland is. Eén van de bewoners maakt een schets van het eiland in het zand. Een lid van het gezelschap van La Pérouse tekent dit snel op papier na, vóór de golven de tekening weer wissen.

“Wat maakt de werkwijze van La Pérouse en zijn reisgenoten nu wetenschappelijker dan die van de Chinezen?”, vraagt Latour zich af. Het maken van een tekening op papier is niet moeilijker dan van een tekening in het zand. Het verschil is, zegt Latour, dat de tekening voor de Chinezen nauwelijks betekenis heeft.

---

<sup>12</sup> Latour, 1990.

Ze vinden het niet erg wanneer deze door een golf wordt uitgewist. Voor La Pérouse ligt dit heel anders, het verkrijgen van dit soort tekeningen is het doel van zijn missie. Dankzij deze tekening wordt de kennis over Sakhalin, die eerst alleen in de hoofden van de Chinese bewoners bestaat, transportabel. Teruggekomen in Frankrijk kan La Pérouse laten zien hoe Sakhalin eruit ziet. Met deze tekening in de hand kan hij anderen ervan overtuigen dat Sakhalin een eiland is en wat geschikte vaarroutes zijn. De rol die inscripties spelen is voor La Pérouse dus een hele andere dan voor de lokale bevolking. Voor La Pérouse zijn inscripties een instrument om zijn argumenten kracht bij te kunnen zetten. Het is die functie die het visualiseren zo'n centrale rol geeft in science en techniek.

Het mooie van inscripties, zoals deze kaart van Sakhalin, is dat je ze kunt vervoeren zonder dat je bang hoeft te zijn dat er onderweg iets aan verandert. Dat, zo betoogt Latour, is een van de sterke punten van inscripties: je kunt ze verplaatsen zonder dat er vervorming optreedt. En je kunt ze opnemen in geschreven teksten. Bovendien kun je de schaal veranderen zonder dat er informatie verloren gaat. En je kunt ze combineren. Met behulp van meetkunde kun je zelfs driedimensionale voorstellingen maken.

Een ander belangrijk kenmerk van inscripties is, dat je ze goedkoop kunt produceren en vermenigvuldigen. De uitvinding van de boekdrukkunst heeft dan ook een grote rol gespeeld bij de vlucht die het gebruik van inscripties heeft genomen. De boekdrukkunst maakt het mogelijk dat inscripties niet alleen worden verzameld in kenniscentra, maar ook de wereld worden rondgestuurd. Het gevolg is dat verschillende beschrijvingen van dezelfde zaken naast elkaar kunnen worden gelegd en met elkaar worden vergeleken. Daardoor kunnen discrepanties worden opgespoord. Dat creëert de behoefte om deze discrepanties op te heffen. Zo kan het creëren en verspreiden van inscripties gaan functioneren als een katalysator voor het verbeteren van kennis.

Maar het visualiseren speelt nog een andere rol; er is zoals ik zonet al opmerkte ook sprake van modelleren. Door te visualiseren kunnen we complexe verschijnselen vereenvoudigen en hanteerbaar maken. Het vertalen van de dynamische en chaotische driedimensionale werkelijkheid naar tweedimensionale representaties vormt volgens Latour de ruggengraat van het werk van wetenschappers en technici. Hij licht dat als volgt toe:

“(...) if scientists were looking at nature, at economics, at stars, at organs, they would not see anything. (...) Scientists start seeing something once they stop looking at nature and look exclusively and obsessively at prints and flat inscriptions.”<sup>13</sup>

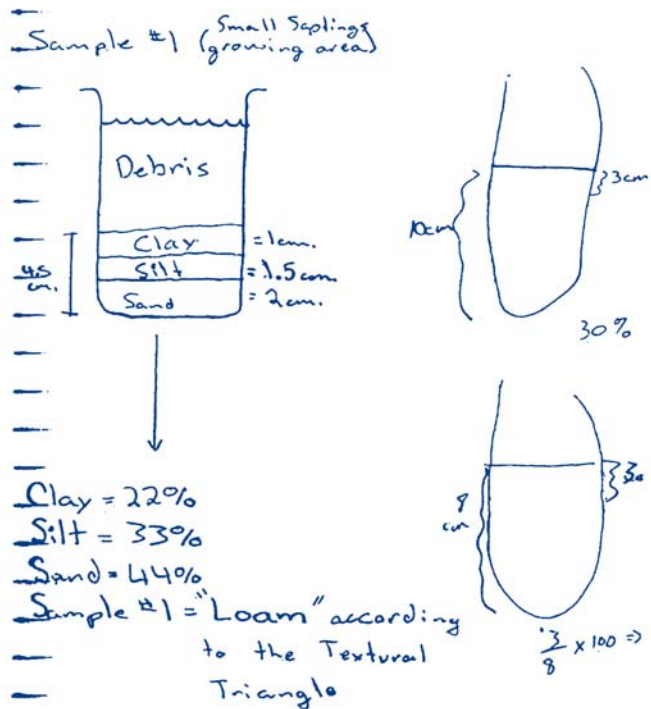
Wetenschappers doen hun ontdekkingen niet door naar de werkelijkheid kijken, maar door te manipuleren met inscripties op papier. Visualiseren maakt een manier van werken mogelijk die kenmerkend is voor science en techniek: het werken met een gereduceerde werkelijkheid. De complexe werkelijkheid wordt gevangen in eenvoudige tweedimensionale representaties. Maar er is meer; in de loop van de tijd worden de bestaande inscripties vervangen door nieuwe en zo ontstaat een opeenvolging van steeds compactere inscripties, door Latour een *'cascade of inscriptions'* genoemd. Het ontstaan van nieuwe kennis en nieuwe inzichten gaat gepaard met de introductie van nieuwe representaties. Waarbij de nieuwe representaties als regel abstracter en tegelijkertijd meer omvattend zijn. Dit past, zo betoogt hij, bij het algemene streven van wetenschappers die proberen om 'steeds meer' met 'steeds minder' te beschrijven. Dit leidt tot zeer compacte representaties waar veel informatie in verborgen zit. Dat is prima voor de wetenschap, maar het geeft grote problemen wanneer we deze representaties in het onderwijs willen introduceren.

Men spreekt in dit verband wel van een *learning paradox*. Het probleem is namelijk dat je om toegang te krijgen tot een nieuw kennisgebied, de symbolen nodig hebt die in dat kennisgebied worden gebruikt, maar dat die symbolen hun betekenis nu juist ontleen aan precies datzelfde kennisgebied. Je komt als het ware in een vicieuze cirkel terecht die het onmogelijk maakt om iets nieuws te leren. Je moet de symbolen begrijpen om kennis te kunnen verkrijgen en je hebt kennis nodig om de symbolen te begrijpen. Je kunt van een paradox spreken omdat, ondanks de logische onmogelijkheid, sommigen er uiteindelijk toch in slagen zich deze kennis eigen te maken. Maar dat is een kleine minderheid. Het zal duidelijk zijn dat hier een conceptuele barrière ligt. Deze barrière is vooral lastig te overwinnen wanneer de afstand tussen de symbolische representaties en de eigen kennis van de leerling groot is. Een manier om aan deze problemen tegemoet te komen is daarom te starten met eenvoudige representaties die dicht bij de informele kennis van de leerling liggen en om dan te proberen de leerlingen het historische ontstaansproces versneld te laten doorlopen.

---

<sup>13</sup> Latour, 1990, pp. 39.

Hoe zo'n leerproces eruit kan zien wil ik toelichten aan een voorbeeld dat ik ontleen aan Roth & McGinn.<sup>14</sup> Zij beschrijven een onderwijsexperiment waarin twee leerlingen, uit de tweede klas van het voortgezet onderwijs, grondmonsters verzamelen in het kader van een veldonderzoek in een natuurgebied bij de school. Zij markeren drie stukken grond van 1 m<sup>2</sup> waarvan ze de plantengroei willen onderzoeken. Daartoe verzamelen zij monsters van de bovenste grondlaag. Teruggekomen op school mengen zij de grond met water. Wanneer deze mengsels tot rust zijn gekomen zien ze dat er drie verschillende lagen te onderscheiden zijn. Ze leggen dit vast in tekeningen van deze drie lagen in de glazen mengbekers (figuur 1). Naast de laagjes schrijven ze hoe dik ze zijn. Om de resultaten vergelijkbaar te maken schakelen ze over op procenten. Tot slot besluiten ze de drie grondmonsters te noteren in een diagram die ze in hun bronnenmateriaal hebben gevonden (figuur 2).



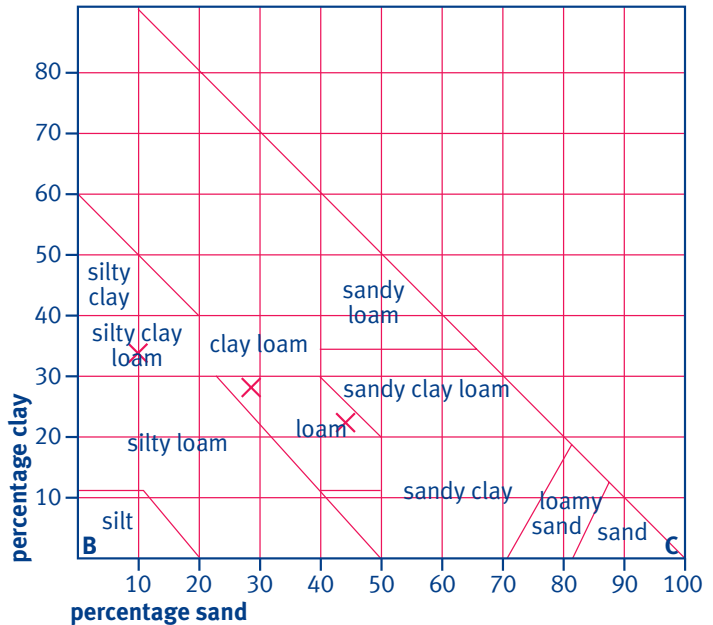
figuur 1

Grondmonsters.  
[ontleend aan Roth,  
W-M., & McGinn,  
M.K. (1998).  
Inscriptions: Toward  
a Theory of  
Representing as  
Social Practice Source:  
*Review of Educational  
Research*, 68 (1),  
pagina 40.]

<sup>14</sup> Roth, & Bowen, 1994.

figuur 2.

Grafiek van verschillende rondsoorten. [ontleend aan Roth, W.-M., & McGinn, M.K. (1998). *Inscriptions: Toward a Theory of Representing as Social Practice Source: Review of Educational Research, 68 (1), pagina 40.*]



We zien dat de leerlingen beginnen met grondmonsters en eindigen bij kruisjes in een tamelijk abstract diagram. De betekenis daarvan is voor de leerlingen echter helder dankzij het proces dat tot deze constructie heeft geleid.

Door dit soort onderwijsactiviteiten in het programma van de basisschool op te nemen kunnen we ervoor zorgen dat de leerlingen beter beslagen ten ijs komen in het voortgezet onderwijs. Op deze manier kunnen we de leerlingen vertrouwd maken met geavanceerde representaties, die ze later nodig hebben. Die geavanceerde representaties horen tot de taal van science en techniek, het leren van die taal vormt dan ook een belangrijk onderdeel van het 'leren voor later'. Het visualiseren kan bij allerlei onderwerpen aan de orde komen. Door het uitvoeren van dit soort activiteiten kunnen de leerlingen bovendien ervaring opdoen met het visualiseren als manier om greep te krijgen op de materiële werkelijkheid. En, kunnen ze leren om visualisering als hulpmiddel in te zetten om met anderen te communiceren.

Dit visualiseren kan zowel bij science als bij techniek aan de orde komen. Visuele representaties spelen dan echter wel verschillende rollen. In de wetenschap gebruik je visuele representaties om fenomenen in de werkelijkheid te beschrijven en te verklaren. Je maakt een model om greep te krijgen op de

werkelijkheid. Bij techniek gebeurt het omgekeerde, daar maak je een model dat je kunt vertalen in een instrument om de werkelijkheid te manipuleren. Technische tekeningen en dergelijke laten zien hoe iets moet worden, of hoe je met een apparaat iets kunt laten gebeuren. In de praktijk zijn science en techniek overigens niet zo goed te scheiden. De onderzoeker zal meestal instrumenten moeten ontwerpen om te kunnen onderzoeken en de technicus zal in het algemeen onderzoeken of zijn of haar ontwerp wel voldoet.

### Visueel denken

Er is nog een aspect waarop het visualiseren in science en techniek verschilt. Binnen de techniek worden in het algemeen hogere eisen gesteld aan het visuele denken. Dan gaat het om meer dan het maken en gebruiken van visuele representaties alleen. Volgens Ferguson<sup>15</sup> is ‘visueel denken’ een onmisbare vaardigheid voor ontwerpers. Technische ontwerpers moeten zich een voorstelling kunnen maken van de apparaten die ze ontwerpen. Ervaren ontwerpers kunnen een apparaat vaak in gedachten in werking voor zich zien. Het visuele denken springt volgens hem in het oog als je wat oudere techniekboeken openslaat. Dat zijn echte plaatjesboeken, die soms een ware catalogus bieden van constructies en onderdelen. Hij wijst daarbij op de variëteit in tekentechnieken die in de loop van de tijd werden uitgevonden; perspectief tekenen, orthografische projectie, isometrische afbeelding en *exploded view*. Tot de tekentechnieken rekent Ferguson ook grafieken, ook die ondersteunen naar zijn idee een vorm van visueel denken. Hij licht dit toe met enkele voorbeelden:

“If the efficiency of an engine is at issue, for example, an engineer’s thoughts turn instinctively to a typical performance curve, that of efficiency versus load; a structural engineer carries a family of stress versus strain curves in his head; even the abstractedly thinking electronics engineer is likely to visualize curves of wave forms.”<sup>16</sup>

Ferguson klaagt dat het visuele denken in de tegenwoordige technische opleidingen te weinig aandacht krijgt. Men stapt naar zijn idee te snel over naar wiskundige formules. Een taak voor het onderwijs zou zijn om het visuele denken te cultiveren. Volgens Freudenthal<sup>17</sup> moet je het visuele denken al op jonge leeftijd ontwikkelen. Na de basisschool ben je volgens hem te laat. Ook hier dus weer een

---

<sup>15</sup> Ferguson, 1977.

<sup>16</sup> Ferguson, 1977, 831.

<sup>17</sup> Freudenthal, 1978.



onderwerp dat thuishoort binnen het ‘leren voor later’. Visueel redeneren is gelukkig een van de doelstellingen van het moderne rekenonderwijs.<sup>18</sup> Bovendien is er dynamische software beschikbaar, waarmee jonge leerlingen driedimensionale voorstellingen kunnen maken en manipuleren.<sup>19</sup>

### Het specifieke karakter van de bètacultuur

De cultuur van de science en techniek is voor velen een onbekende cultuur. En onbekend maakt onbemind. Net als bij een andere cultuur kunnen we de bètacultuur associëren met de groep die tot deze cultuur behoort. In zekere zin kunnen we hier spreken van een ‘*community of practice*’.<sup>20</sup> Een *community of practice* kenmerkt zich door een gemeenschappelijke taal, gemeenschappelijke doelen, opvattingen, werkwijzen en gereedschappen. Voor buitenstaanders die geen deel uitmaken van die cultuur maken deze taal, doelen, werkwijzen en dergelijke een vreemde indruk. Dit geldt ook voor de bètacultuur: de overgrote meerderheid van de leerlingen kan zich er nauwelijks mee identificeren.<sup>21</sup> In het gangbare middelbaar onderwijs wordt deze vervreemding eerder versterkt dan weggenomen, doordat leerlingen alleen met de uiterlijke kenmerken van de wetenschap en technologie in aanraking komen, zoals formules, definities, regels en procedures. Zonder dat ze behoorlijk de gelegenheid te krijgen met deze cultuuruitingen kennis te maken – laat staan zich er mee te leren identificeren.<sup>22</sup> Voor bepaalde groepen leerlingen geldt bovendien dat het beeld van science en techniek, zoals dat wordt uitgedragen in het bètaonderwijs, niet strookt met het beeld dat ze van zichzelf en de wereld hebben.<sup>23</sup>

Maar wat is dan die bètacultuur die science en techniek voor sommigen zo aantrekkelijk maakt? Kenmerkend voor die cultuur is nieuwsgierigheid, willen weten hoe iets zit. Het willen begrijpen. Er is denk ik bijna niemand die niet ooit de ervaring heeft gehad van een Aha-Erlebnis. Plotseling iets te begrijpen dat daarvoor niet duidelijk was. Dat is de kern van wat natuurwetenschappers en technici drijft. Niet dat dit begrijpen noodzakelijkerwijs in de flits van een Aha-Erlebnis tot stand moet komen, maar wel het bevredigende gevoel dat je iets begrijpt. Begrijpen is in science en techniek nauw verbonden met modellen en metaforen. We begrijpen

---

<sup>18</sup> Galen, et al., 2006.

<sup>19</sup> Zie bijvoorbeeld <http://www.fi.uu.nl/rekenweb/>

<sup>20</sup> Wenger, 1998.

<sup>21</sup> Aikenhead, 1996.

<sup>22</sup> Perrenet & Taconis, 2008; Kock, Taconis, Bolhuis, & Gravemeijer, 2008.

<sup>23</sup> van Eijck, 2008.

een elektrische schakeling door ons voor te stellen dat er elektronen door de draden stromen. Geluid en licht begrijpen we door het voor te stellen als golven. De kracht van dit soort modellen en metaforen is dat het ons mogelijk maakt om voorspellingen te doen. En die voorspelling kun je toetsen, en dat geeft je zekerheid. Ook dit is weer een aspect van de bètacultuur; het zoeken naar zekerheid door theorieën, vermoedens of verklaringen empirisch te toetsen. Dit heeft te maken met een onderzoekende houding, alles zeker willen weten.

Dit is uiteraard niet specifiek voor bèta. Veel kenmerken van de bètacultuur zijn ook algemene kenmerken van een wetenschappelijke cultuur, zaken als nieuwsgierigheid, de behoefte dingen te begrijpen en om vermoedens empirisch te toetsen zijn niet uniek voor de bètawetenschappen. Wel kunnen we stellen dat de afstand tussen dagelijkse ervaringen van de leerlingen en het complexe en formele karakter van de wetenschappelijke en technische kennis waar de leerlingen mee worden geconfronteerd, in de bètavakken het grootst is. Bovendien wordt de leerlingen in het algemeen weinig zicht geboden op wat bètawetenschappers en technici doen – zoals experimenteren, construeren en modelleren. Daardoor blijft het duister waar die kennis vandaan komt en wat de status van die kennis is. Dit wordt fraai geïllustreerd door een anekdote die Bill Bryson vertelt in 'A Short History of Nearly Everything', een schitterend historisch verslag over hoe wij aan onze natuurwetenschappelijke kennis zijn gekomen.<sup>24</sup> Op de lagere school krijgt hij een boek waarin een plaatje van een opengewerkte aardbol staat. In de toelichting wordt beschreven uit welke lagen de aardkorst bestaat en dat de kern wordt gevormd door gloeiend ijzer. En hij vraagt zich verbaasd af: "Hoe weten ze dat?" Gedurende zijn schooltijd heeft hij nooit een antwoord gekregen op die vraag. Terugblikkend constateert hij dat dit in feite geldt voor alle kennis die hem op school is aangeboden.

Zulk onderwijs veronderstelt een weinig kritische houding, waarbij je kennis aanneemt op het gezag van een ander. Terwijl voor de echte onderzoeker elke verklaring weer nieuwe vragen oproept. Is dat wel zo? En waarom is dat zo? Deze houding van doorvragen en doorredeneren, die het domein van science en techniek overstijgt, zouden we mijns inziens centraal moeten stellen in het onderwijs. Het is een basishouding die haast onmisbaar is in de informatiemaatschappij en die binnen science en techniek goed kan worden ontwikkeld. In deze gehaaste maatschappij zijn we vaak tevreden met oppervlakkige antwoorden. In de informatiemaatschappij worden we overvoerd met informatie. En de media storten

---

<sup>24</sup> Bryson, 2003.

allerlei feiten en beweringen over ons uit die we gemakkelijk voor waar aannemen. Juist in de informatiemaatschappij is een kritische houding ten opzichte van informatie onmisbaar. Bij het lezen van de krant, het raadplegen van het internet of het luisteren naar radio of tv, zouden we ons wat vaker moeten afvragen: "Wat betekent dit?", "Kan dit wel kloppen?", "Snap ik dit?".

Laat ik een alledaags voorbeeld geven dat niet over science of techniek gaat. Enige tijd geleden stond in de krant: "Tientallen doden door rekenfouten van artsen en verpleegkundigen." Sommigen zullen gedacht hebben: "Het is toch vreselijk, waar gaat het naar toe." Of, "Zie je wel, het is echt vreselijk gesteld met het rekenonderwijs." De kritische houding die ik bepleit, houdt in dat je je afvraagt: "Kan dit wel kloppen?". Is het niet wat merkwaardig dat je daar nooit eerder wat over hebt gehoord, over die doden door fouten van artsen en verpleegkundigen? Dat zou toch voorpaginanieuws moeten zijn geweest. Als je uitzoekt waar deze krantenkop op is gebaseerd – en dat kan tegenwoordig met internet vrij eenvoudig – dan blijkt dat er helemaal geen doden zijn geteld. Er is een redenering opgezet, waarbij vanuit de resultaten op een rekentoets is geëxtrapoleerd naar het aantal doden dat zou kunnen zijn gevallen, wanneer de fouten op de toets maatgevend zouden zijn voor de fouten die in de praktijk worden gemaakt. Ik kan u verzekeren dat die redenering beslist niet houdbaar is.<sup>25</sup> Maar nu wordt dit een betoog dat in zijn eigen staart bijt. Want wanneer u kritisch bent, vraagt u zich natuurlijk af of deze bewering van mij wel valide is. Ik ga dat hier niet verder toelichten. Waar het mij om gaat is dat het belangrijk is de leerlingen een kritische houding bij te brengen en dat het onderwijs in science en techniek een ideale gelegenheid biedt om dat te doen.

Ik sluit me daarom graag aan bij de Franse initiator van 'La main à la pâte' een innovatief onderwijsprogramma voor science op de basisschool, Léna.<sup>26</sup> Die, wanneer hij pleit voor het uitbreiden van de gangbare basisvaardigheden met science, het volgende motto hanteert: De basisvaardigheden, die in het Engels worden aangeduid als '*the three R's*', '*reading, writing, and arithmetic*', moeten worden uitgebreid tot, '*reading, writing, arithmetic, and reasoning*'.

Dit vraagt een onderwijscultuur waarin het zelfstandig denken en redeneren van de leerlingen een centrale plaats inneemt. Onderzoek in het reken-wiskunde-onderwijs laat zien dat dit type onderwijs niet zo gemakkelijk te realiseren is. De leerlingen zijn in het algemeen gewend aan een rolverdeling, waarin de leraar

---

<sup>25</sup> Gravemeijer & Wit, 2008.

<sup>26</sup> Léna, 2006.

de inhoudelijke autoriteit is. In zulk onderwijs wordt van de leerlingen verwacht, dat zij procedures en redeneringen volgen die de leraar voordoet of uitlegt. In probleem-georiënteerd onderwijs daarentegen wordt van de leerlingen verwacht dat zij zelf nadenken over oplossingen en oplossingsmethoden en deze in de klas toelichten en onderbouwen. Bovendien wordt van ze verwacht dat ze naar andere leerlingen luisteren, proberen deze te begrijpen en zo nodig vragen stellen en in discussie gaan wanneer dit niet het geval is.

Men spreekt in dit verband wel van een ander ‘didactisch contract’<sup>27</sup>, omdat het om denkbeelden gaat die het karakter hebben van impliciete afspraken. Maar het zijn natuurlijk geen afspraken die op papier staan, het zijn de verwachtingen van de leraar en leerlingen over hun eigen en elkaars rollen in het onderwijsproces. Dat het hier niet om afspraken op papier gaat, maar om normen die de leerlingen zich in de loop van de tijd eigen hebben gemaakt, maakt dat je dit didactisch contract niet zo gemakkelijk kunt veranderen. De gangbare normen zijn gebaseerd op ervaring en om deze te veranderen zullen de leerlingen door ervaring moeten leren wat er in de nieuwe situatie nu wel en niet van hen wordt verwacht.

Naast de algemene normen, die betrekking hebben op het uitleggen hoe je aan je oplossing bent gekomen en het discussiëren over elkaars oplossingen, kunnen we ook nog vakspecifieke normen onderscheiden.<sup>28</sup> Voor science en techniek gaat het dan om normen rond wat natuurwetenschappelijk of technisch redeneren en argumenteren inhoudt. Daarmee zitten we midden in het hart van de bètacultuur.

Ik zou deze uiteenzetting over de bètacultuur willen afsluiten met de opmerking dat wanneer we de leerlingen vertrouwd maken met natuurwetenschappelijke benadering, we hen er ook van bewust moeten maken dat elke discipline zijn eigen manier van kijken naar de werkelijkheid met zich meebrengt. En dat elke manier van kijken zijn eigen sterke en zwakke kanten heeft.

### **De rol van ICT**

Als derde element van een overstijgende karakterisering van onderwijs noemde ik ICT. Science en techniek is haast niet meer voor te stellen zonder ICT. En ICT is ook niet meer weg te denken uit onze maatschappij. Daarmee keer ik weer teug naar het hoofdpunt van mijn rede, het voorbereiden op de informatiemaatschappij. Een overstijgend onderwijsdoel is tenslotte ervoor te zorgen dat de leerlingen goed beslagen ten ijs komen in de maatschappij waar ze straks terechtkomen. In 1996

---

<sup>27</sup> Brousseau, 1988.

<sup>28</sup> Cobb & Yackel, 1996.

constateert Kenelly al dat een moderne auto meer computers bevat dan de Apollo-capsule waarmee de Amerikanen op de maan landden en zo merkt hij op:

“Business is a network of word processors and spreadsheets. Engineering and Industry are a maze of workstations and automated controls. Our students will have vastly different careers and we, the earlier generation must radically change the way that education prepares a significant larger part of the population for information intensive professional lifes.”<sup>29</sup>

We zullen de leerlingen moeten voorbereiden op een maatschappij die gedomineerd wordt door het werken met computers en computeriseerde apparaten en processen. Behalve dat iedere burger over een bepaald niveau van ICT-geletterdheid zal moeten beschikken, heeft dit vooral consequenties op de werkplek.

De invloed van informatietechnologie kunnen we vergelijken met die van de boekdrukkunst aan het eind van de middeleeuwen. Zoals science en techniek in het verleden een geweldige impuls kreeg door de opkomst van de drukpers, zien we nu een vergelijkbare impuls door het wijdverbreide gebruik van informatietechnologie. Computers en gecomputeriseerde systemen zijn een integraal onderdeel geworden van een breed scala van activiteiten en onmisbaar in science en techniek. Computers en gecomputeriseerde systemen vormen daarbij een intermediair tussen de onderzoeker of ontwerper enerzijds en de realiteit die bestudeerd of beïnvloed wordt anderzijds. De informatietechnologie voegt een nieuwe dimensie toe aan het visualiseren. De rekenkracht van de computer maakt het mogelijk gegevens uit verschillende bronnen te bewerken en te combineren, alvorens ze op een of ander display zichtbaar te maken. De huidige technologie maakt het mogelijk om metingen direct in elektronische signalen om te zetten. Omgekeerd kunnen we een druk op de knop zo vertalen naar een fysieke ingreep in een concrete situatie. De computer of gecomputeriseerde systeem fungeert op deze manier steeds meer als intermediair tussen de mens en zijn fysieke omgeving.

Voor wetenschappers en technici is het van belang dat dit intermediair transparant voor ze is. Maar dit geldt niet alleen voor hen. Voor alle gebruikers geldt dat ze zicht moeten hebben op de vertalingen en bewerkingen, die zich in de computer voltrekken, om op een verantwoorde manier met computers en gecomputeriseerde systemen om te kunnen gaan. Zeker wanneer we van hen meer verwachten dan het routinematig werken met zulke systemen. Leerlingen hierop voorbereiden zou

---

<sup>29</sup> Kenelly, 1996, p. 24.

dan ook een van de doelen van het funderend onderwijs moeten zijn. In het algemeen zal het daarbij gaan om het voorzien van de conceptuele modellen die de werkelijkheid beschrijven die geanalyseerd of bestuurd wordt. Dit vraagt om competenties op het gebied van het redeneren met modellen van veranderlijke grootheden.

Kaput<sup>30</sup> spreekt in dit verband van de *'mathematics of change'*. Hij betoogt dat computers nieuwe mogelijkheden bieden om deze *mathematics of change* binnen het bereik van grote groepen leerlingen te brengen. Computers hebben aan het bestaande repertoire van tweedimensionale representaties een nieuwe vorm toegevoegd, de *dynamische representaties*. Zoals grafieken en uitkomsten van metingen die *real time* op het scherm verschijnen, maar ook de representaties van simulaties die naar believen gemanipuleerd kunnen worden. Deze dynamische representaties maken, zo betoogt Kaput, een kwalitatieve, conceptuele benadering van het redeneren over veranderingen mogelijk. Deze kwalitatieve benadering kan voor grote groepen leerlingen een alternatief vormen voor de gangbare integraal- en differentiaalrekening. We zouden het redeneren over veranderlijke grootheden daarmee toegankelijk kunnen maken voor die leerlingen voor wie het algebraïsche rekenen van de integraal- en differentiaalrekening nu een onoverkomelijk struikelblok vormt. Voor een selecte groep zal de integraal- en differentiaalrekening zijn waarde uiteraard behouden. Voor die groep geldt dan ook dat ze zullen moeten beschikken over de juiste rekennaardigheden.<sup>31</sup> Maar als het gaat om funderend onderwijs voor alle leerlingen, dan biedt deze meer kwalitatieve benadering unieke mogelijkheden.

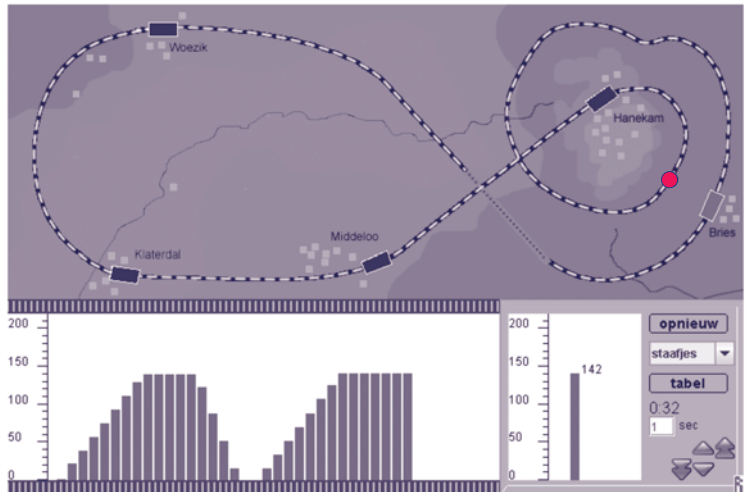
Het daarbij passende onderwijs kan al in de basisschool starten. Dit laten experimenten zien die Van Galen uitvoert in het kader van een door de Ververs Foundation gesubsidieerd project.<sup>32</sup> Als voorbeeld kan het computerprogramma *Treinmachinist* dienen. Dit computerprogramma toont een dynamisch plaatje van een treinbaan, waarop de trein te zien is als een bewegende rode punt.

---

<sup>30</sup> Kaput & Schorr, 2007.

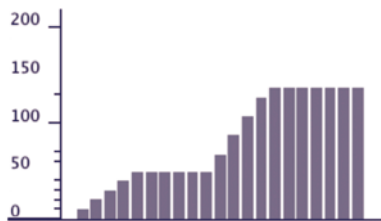
<sup>31</sup> Bij ESoE wordt hier onderzoek naar gedaan door Irene van Stiphout (t.a.v. algebraïsche vaardigheden) en Geeke Bruin-Muurling (t.a.v. het rekenen met breuken).

<sup>32</sup> Galen, & Gravemeijer, 2008.



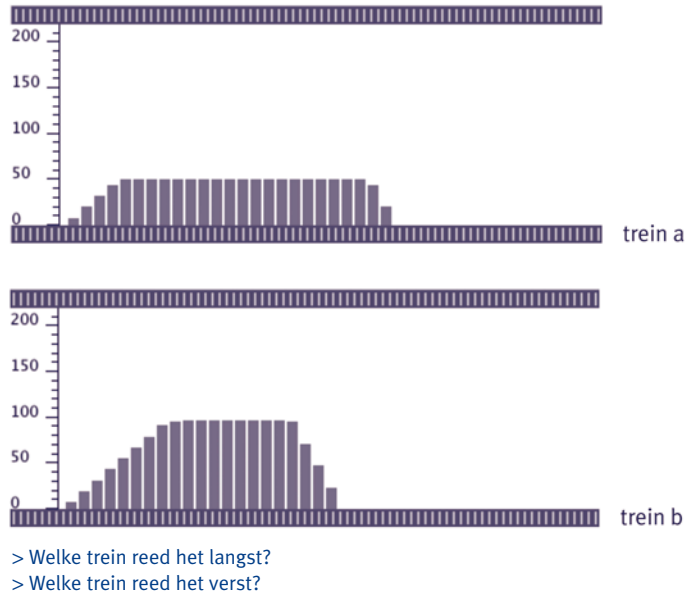
figuur 3.  
De Treinmachinist.

De leerlingen kunnen de trein met de pijltjesknoppen harder of langzamer laten rijden. De snelheid van de trein is af te lezen op de meter rechtsonder. Een van de opdrachten is om zo snel mogelijk een rondje te rijden zonder de maximumsnelheid te overschrijden en zonder een station over te slaan. Terwijl de trein rijdt tekent de computer een grafiek van de snelheid in de vorm van een serie staafjes, waarbij elk staafje staat voor een aparte meting. Er is dus in de vormgeving een directe koppeling tussen de snelheidsmeter en de grafiek van het verloop van de snelheid over de tijd.



figuur 4.  
Staaftesgrafiek en  
lijngrafiek van het  
optrekken van de trein.

Dit maakt het voor de leerlingen mogelijk om op een heel concrete manier over veranderingen te redeneren. Observaties lieten zien dat leerlingen van groep 7 en 8 konden uitleggen dat de trein van figuur 4 eerst rustig en daarna sneller optrekt door te verwijzen naar de verschillen tussen de opeenvolgende staafjes.



figuur 5.

Twee treinen; een meting (staafje) per seconde.

Ze bleken zelfs uit de voeten te kunnen met opdrachten, waarbij uit twee grafieken moest worden afgeleid, welke trein het *langst*, en welke trein het *verst* had gereden (figuur 5). Dat trein **a** het langst gereden was de meesten direct duidelijk. De vraag welke trein het *verst* reed was lastiger. Sommigen redeneerden, ‘als je langer rijdt kom je ook verder’. Anderen meenden dat ‘als je harder rijdt ook verder komt’. Een meisje uit groep 8 koos voor **b**, ‘want het scheelt maar 4 seconden, en hij rijdt twee keer zo snel!’. In het vervolg van de les kwam een aantal leerlingen met het voorstel om de lengtes van de staafjes bij elkaar te nemen. Dit is precies het type benadering waar we naar op zoek zijn. Omdat de snelheid elke seconde wordt gemeten en omdat elk staafje de snelheid op dat moment aangeeft, is dat staafje ook een (globale) maat voor de afstand die de trein in die seconde aflegt.

In het redeneren over verschillen tussen opeenvolgende staafjes als maat voor verandering en over de som van een reeks van staafjes als maat voor cumulatief effect, kunnen we een voorbeeld zien van de *mathematics of change* waar Kaput het over heeft. We zien ook hoe de dynamische representatie waarbij je de grafiek ziet ontstaan uit de momentopnames van de ‘snelheidsstaafjes’, het redeneren van de leerlingen ondersteunt. Maar het gaat niet alleen over wiskunde. Deze ervaringen met de treinsimulatie helpen de leerlingen ook om greep te krijgen



op natuurkundige fenomenen als ‘snelheid’ en ‘versnelling’. Naast snelheid kunnen ook op de basisschool andere fenomenen worden onderzocht. Zoals afkoe-ling, lengtegroei van jongens en meisjes, de groei van een vispopulatie in een kweekvijver of de stroomsterkte die in een zonnecel wordt opgewekt. De leer-lingen worden zo vertrouwd gemaakt met een kwantitatieve benadering van de werkelijkheid, waarbij meetwaarden worden opgevat als variabelen die elektro-nisch geanalyseerd en gemodelleerd kunnen worden. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van simulaties maar het is ook mogelijk om elektronische meet-apparatuur direct met de computer te verbinden om onderzoek te doen naar de samenhang tussen veranderlijke grootheden.<sup>33</sup>

Naast onderzoeksactiviteiten kunnen we hier ook denken aan ontwerpactiviteiten, waarbij de leerlingen die zelf robots ontwerpen en bouwen met behulp van pak-ketten als Techno-Logica en Lego Mindstorms.<sup>34</sup>

Er zijn nog meer onderwerpen waarbij informatietechnologie in het basisonderwijs kan worden ingezet. Ik noem in dit verband de exploratieve data-analyse als basis voor het ontwikkelen van eenvoudige statistische noties,<sup>35</sup> de meetkunde compu-ter applets waar ik eerder naar verwees.

We zien dus dat ICT hier een dubbelrol speelt, enerzijds aan de kant van de doelen van het onderwijs – we moeten de leerlingen voorbereiden op het kunnen gebrui-ken van ICT – anderzijds als middel om dat onderwijs mee te kunnen realiseren. Met behulp van dynamische representaties, simulaties en elektronische meet-instrumenten kunnen leerlingen vertrouwd worden gemaakt met:

- de samenhang tussen variërende grootheden;
- de daarbij passende visuele representaties;
- eenvoudige statistische begrippen en representaties;
- meet- en meetkundige inzichten en representaties.

---

<sup>33</sup> Zie ook Ellermeijer & Mulder, 1998.

<sup>34</sup> Slangen, 2005.

<sup>35</sup> Zie Gravemeijer & Cobb, 2006.

# Onderwijsinnovatie en onderzoek

In het voorgaande heb ik betoogd dat we de leerlingen van nu moeten voorbereiden op deelname aan de maatschappij van straks. Hoe we het onderwijs inrichten bepaalt in belangrijke mate of de leerlingen van nu straks een kans maken in de informatiemaatschappij. De manier waarop informatietechnologie in allerlei facetten van onze maatschappij is doorgedrongen maakt het noodzakelijk om ons onderwijs daarop af te stemmen. Uitgaande van algemene kenmerken van science en techniek beschreef ik kenmerken van science- en techniekonderwijs dat leerlingen voorbereidt op de informatiemaatschappij. Ik heb daarbij de drie kenmerkende aspecten van zulk onderwijs besproken:

- visualiseren als kernactiviteit in science en techniek;
- het specifieke karakter van de bètacultuur;
- de rol van ICT.

Ik wil graag benadrukken dat ik hiermee nog slechts een globaal en voorlopig kader heb geschetst. Wel denk ik dat op basis hiervan met experimenten met inspirerend, innovatief science- en techniekonderwijs kan worden gestart. Tegelijkertijd zal een verder onderzoek plaats moeten vinden naar de competenties die de maatschappij in de naaste toekomst vraagt. Daarbij zullen we zeker aandacht moeten gaan besteden aan wat de consequenties kunnen zijn van te verwachten economische en technologische ontwikkelingen. Wat dit laatste betreft kunnen we denken aan biotechnologie en nanotechnologie enerzijds en aan een grotere rol van informatietechnologie in medische en ouderenzorg anderzijds.

Aan de vraag wat de leerlingen zich idealiter eigen zouden moeten maken, is uiteraard de vraag gekoppeld of we het onderwijs zó kunnen inrichten dat deze doelen ook bereikt worden, en h $\ddot{o}$ e we dat moeten doen. Dat roept vervolgens de vraag op, wat leraren hiervoor moeten kunnen en hoe we ze daarvoor opleiden, c.q. ondersteunen bij hun verdere professionele ontwikkeling.

Op al deze onderdelen doet of start de Eindhoven School of Education onderzoek. Onderzoek dat nauw gelieerd is aan de onderwijspraktijk en onderwijsinnovatie, daarin gesteund door het Kenniscentrum Wetenschap en Techniek Zuid, de daarin samenwerkende lerarenopleidingen voor het basisonderwijs en VTB-pro, een onderdeel van het Platform Bèta Techniek, die de activiteiten van het kenniscentrum subsidieert. Deze combinatie biedt unieke mogelijkheden voor het hier

beoogde onderzoek dat nauw is gelieerd aan de onderwijspraktijk en onderwijsinnovatie. Voor het hier beoogde onderzoek heb je immers innovatieve onderwijs-situaties nodig en omgekeerd kan het onderzoek de innovatie inspireren en funde-ren. We kunnen daarbij profiteren van het feit dat VTB-pro de in het kenniscentrum samenwerkende opleidingen in staat stelt leraren en aanstaande leraren op grote schaal te professionaliseren en te scholen op het gebied van science- en techniekonderwijs. Het eerste wat we daarmee willen bereiken is leraren basisonderwijs vertrouwd te maken met science en techniek en ze daar enthousiast voor te maken. In het algemeen geldt dat basisschoolleraars eerder ‘alpha’s’ dan ‘bèta’s’ zijn, die weinig affiniteit met science en techniek hebben. Het beeld dat ze van science en techniek hebben is vaak onvolledig. Bovendien ontbreekt het velen aan kennis en vaardigheden, wat hen terughoudend maakt in het kiezen van uitdagende activiteiten in het science- en techniekonderwijs. Tenslotte vraagt het onderwijs zoals ik dat zojuist heb geschetst een omschakeling naar onderzoekend en ont-werpend leren. Het organiseren van deze vormen van leren vraagt specifieke peda-gogisch-didactische competenties van de leraar. VTB-Pro spreekt in dit verband van drie pijlers waar de scholing van Pabo-studenten en de professionalisering van basisschoolleraars zich op moet richten: attitude, kennis en vaardigheden, en pedagogisch-didactische competenties.<sup>36</sup>

Met deze innovatieactiviteiten en het hiervoor kort geschetste onderzoek wordt de eerste stap gezet op weg naar science- en techniekonderwijs dat de leerlingen voorbereidt op de informatiemaatschappij. Om goed in die maatschappij te kun-nen participeren zullen de leerlingen vertrouwd moeten worden gemaakt met science en techniek in het algemeen, met de bètacultuur die daar bij hoort en het gebruik van ICT. Het begrijpen van de wereld waarin zij leven is een voorwaarde om mee te kunnen denken en mee te kunnen beslissen over de manier waarop science en techniek wordt ingezet. Belangrijke elementen van zulk science- en techniekonderwijs zijn verder het ontwikkelen van creativiteit en sociale vaardig-heden als communiceren en samenwerken. Op deze manier wordt in het basis-onderwijs een start gemaakt met het zo opleiden van leerlingen, dat ze later mee kunnen doen in de informatiemaatschappij. Niet alleen uit economisch belang maar vooral ook om de maatschappij socialer, leefbaarder en duurzamer te maken.

---

<sup>36</sup> Zie Programmaraad VTB-Pro (2007).

# Dankwoord

Ik ben aan het einde van mijn rede gekomen. Maar voor ik afsluit wil ik nog enkele woorden van dank uitspreken. Ik dank prof. Hans van Duijn, rector magnificus van de TU/e, prof. Hans Niemantsverdriet, oud-decaan van de faculteit Scheikundige Technologie en prof. Wim Jochems, hoogleraar-directeur van de Eindhoven school of Education voor het vertrouwen dat u mij heeft geschonken door mijn benoeming tot hoogleraar in science- en techniekeducatie.

Mijn dank gaat ook uit naar VTB-Pro die een deel van het onderzoek financiert. Ik ben veel dank verschuldigd aan tal van vakgenoten van wie ik veel heb geleerd. Omdat ik daar in mijn vorige oratie al eens bij stil heb gestaan zal ik hier geen namen noemen. Mijn dank is er niet minder om. Meer in algemene zin dank ik vele oud-collega's van het Freudenthal Instituut en van de Vakgroep Onderwijskunde van de Universiteit Utrecht. Ik ben blij dat ik de samenwerking met een aantal van jullie voort kan zetten door betrokkenheid bij onderzoeksprojecten en promotie-begeleiding.

Ik ben ook dankbaar voor de plezierige manier waarop ik binnen de Eindhoven School of Education ben ontvangen. Zowel door de hoogleraar-directeur, Wim Jochems, mijn medehoogleraren en alle andere medewerkers en promovendi. Ook de medewerkers van het Kenniscentrum Wetenschap en Techniek Zuid wil ik danken voor een prettige ontvangst.

Mijn dank gaat ook uit naar mijn ouders van wie ik weet dat zij trots op mij zouden zijn geweest.

Graag wil ik ook mijn vrouw Lida, mijn dochter Alexli, haar man Thijs, mijn zoon Onno en mijn kleinkinderen Luna en Stan bedanken voor de verrijking die zij aan mijn leven geven. Tot slot wil ik Lida bedanken met wat misschien een cliché lijkt, maar in ons geval veel meer inhoudt: carrière maak je niet alleen.

Ik heb gezegd.

# Literatuur

- Aikenhead, G.S. (1996). Science education: Border crossing into the subculture of science. *Studies in Science Education*, 27, 1–52.
- Autor, D., F. Levy, & R. Murnane (2003). The skill content of recent technological change: An empirical exploration. *Quarterly Journal of Economics*, 118 (4): 1279-1333.
- Bryson, B. (2003). *A Short History of Nearly Everything*. USA: Broadway Books.
- Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique: le milieu. *Recherche en didactique des mathématiques* 9(3), 33 – 115.
- Cobb, P. (2004). Constructivism in Mathematics and Science Education. *Educational Researcher*, vol.23, no7, p.4.
- Cobb, P. & Yackel, E. (1996). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. *Educational Psychologist*, 31, 175-190.
- Cuijck, L. van, Keulen, H. van, & Jochems, W.M.G. (Submitted 2008). Techniek in het basisonderwijs: Hoe staan we ervoor?
- Eijck, M. van (2008). Scientific literacy: Past research, present conceptions, and future developments. In W.-M. Roth & K. Tobin (Eds.), *Worlds of science education handbook: North America*. Rotterdam: Sense.
- Ellermeijer, T. & Mulder, C. (1998). IP-Coach: een succesvolle leeromgeving voor de natuurwetenschappelijke vakken en techniek. *TINFON*, 7(4), 131-134.
- Ferguson, E.S. (1977). The Mind's Eye: Nonverbal Thought in Technology. *Science* 197(4306), pp. 827-836.
- Freudenthal, H. (1978). *Weeding and Sowing, Preface to a Science of Mathematics Education*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Galen, F. van, Feijs, E. van, Figueiredo, N., Gravemeijer, K., Herpen, E. van, & Keijzer, R. (2006) *Breuken, procenten, kommagetallen en verhoudingen: tussendoelen annex leerlijnen bovenbouw basisschool*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Goos, M., & A. Manning (2003). Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain. London: Centre for Economic Performance, London School of Economics and Political Science.

- Gravemeijer, K.P.E. & Cobb, P.(2006). Design research from a learning design perspective. In: Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., Nieveen, N.(Eds.) *Educational Design Research*. London: Routledge, Taylor Francis Group, pp. 45-85.
- Gravemeijer, K. & Wit, J.M. (2008). Arts hoeft helemaal niet op rekenles. NRC Handelsblad, 05-11-2008.
- Inspectie van het Onderwijs (2005). *Techniek in het basisonderwijs*. Utrecht: Inspectie van het Onderwijs.
- Kaput, J. & Schorr, R. (2007). Changing representational infrastructures changes most everything: The case of SimCalc, Algebra, and Calculus. In G. Blume & K. Heid (Eds.) *Research on technology in the learning and teaching of mathematics: Syntheses and perspectives* (pp. 211-253). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kenelly, J. (1996). Technology in mathematics instruction. In: Roberts, A. W. (ed.), *Calculus: The dynamics of change* (pp. 24-27). Washington DC: Mathematical Association of America.
- Keulen, H. van, Ros, A., Eijck, M. van, & Gravemeijer, K. (2008). How does an integrated science & technology curriculum in primary education contribute to scientific and technological literacy and to the achievement of learning goals in other domains? (Onderzoeksvoorstel). Eindhoven: EsoE.
- Kock, Z-J., Taconis, R., Bolhuis, S., & Gravemeijer, K. (2008). *Natuurkundige vak-begrippen leren in enculturerend onderwijs*. Paper gepresenteerd op de Onderwijs Research dagen 2008 in Eindhoven.
- Kuijpers, J., & Walma, J. van der Molen (2007). *Wetenschap & techniek: Een rijke leeromgeving*. Den Haag: Programma VTB-Pro.
- Latour, B. (1990). Drawing things together. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 19-68). Cambridge, MA: MIT Press.
- Léna, P. (2006). Erasmus Lecture 2005. From science to education: the need for a revolution. *European Review*. Vol. 14, No. 1, 3-21.
- Levy, F. & R.J. Murnane (2006). How computerized work and globalization shape human skill demands. Geraadpleegd op 2 november 2006, op <http://web.mit.edu/flevy/www/>.
- Millar, R. & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. The report of a seminar series funded by the Nuffield Foundation. London: King's College London, School of Education.

- Perrenet, J.C., & Taconis, R. (2008). Aansluiting en bètabelangstelling door een andere bril: onderwijs als enculturatie. *Euclides*, 84(2), 64-66.
- Rohaan, E.J., Taconis, R., & Jochems, W. M. G. (2008). Reviewing the relations between teachers' knowledge and pupils' attitude in the field of primary technology education. *International Journal of Technology and Design Education*.
- Rohaan, E.J., Taconis, R., & Jochems, W.M.G. (2008). Reviewing the relations between teachers' knowledge and pupils' attitude in the field of primary technology education. *International Journal of Technology and Design Education*.
- Ros, A. (2007). *Werken met kernconcepten*. 's-Hertogenbosch: KPC groep.
- Roth, W-M., & McGinn, M. K. (1998). Inscriptions: Toward a Theory of Representing as Social Practice Source: *Review of Educational Research*, 68 (1), pp. 35-59.
- Slangen, L.A.M.P. (2005). *Techniek, leren door doen - didactiek en bronnen voor de pabo*. Baarn: HB-Uitgevers.
- Spinks, Nigel, Silburn, Nicholas L.J. and Birchall, David W. (2007) 'Making it all work: the engineering graduate of the future, a UK perspective', *European Journal of Engineering Education*, 32:3, 325 – 335.
- Galen, F. van, & Gravemeijer, K. (2008). Experimenteren met Grafieken. *Jeugd School en Wereld*, 19, p.p. 16-21.
- Programmaad VTB-Pro. (2007). *Uitwerking van het theoretisch kader voor de professionalisering van leerkrachten op het gebied van wetenschap en techniek*. Den Haag: Programmaad VTB-Pro.
- Wenger, E. (1998).





# Curriculum Vitae

**Prof.dr. Koeno Gravemeijer is per 1 november 2007 benoemd tot voltijds hoogleraar op het gebied van science- en techniekeducatie aan de Eindhoven School of Education (ESoE), een gemeenschappelijk instituut van Fontys Hogescholen en de Technische Universiteit Eindhoven.**

Koeno Gravemeijer (1946) studeerde Wis- en Natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam en Onderwijskunde aan de Universiteit Leiden. Hij promoveerde in 1994 aan de Universiteit Utrecht op het ontwerpen van reken-wiskundeonderwijs. Hij was enkele jaren docent reken-wiskunde- en natuurkundendidactiek aan verschillende pedagogische academies. Daarna werd hij bij het project Onderwijs en Sociaal Milieu in Rotterdam verantwoordelijk voor de ontwikkeling van een reken-wiskundemethode voor het basisonderwijs. Vervolgens werkte hij bij het Freudenthal Instituut van de Universiteit Utrecht, van waaruit hij bij verschillende projecten in de USA betrokken raakte. Zo voerde hij samen met prof. Paul Cobb verschillende, door de Amerikaanse National Science Foundation gesubsidieerde projecten uit, rond symboliseren en modelleren in het reken-wiskundeonderwijs. In samenhang daarmee was hij visiting professor bij Purdue University en research associate professor bij Vanderbilt University. Van 2000 tot 2008 was hij als bijzonder hoogleraar voor de Nederlandse Vereniging tot Ontwikkeling van het Reken-wiskundeonderwijs verbonden aan de faculteit Sociale Wetenschappen van de Universiteit Utrecht. Als hoogleraar aan de ESoE is hij nauw betrokken bij de door VTB-pro geïnitieerde professionalisering van (aanstaande) leraren van het basisonderwijs op het gebied van science- en techniekonderwijs.

## Colofon

### Productie

Communicatie Expertise  
Centrum TU/e  
Communicatiebureau  
Corine Legdeur

### Fotografie cover

Rob Stork, Eindhoven

### Ontwerp

Grefo Prepress,  
Sint-Oedenrode

### Druk

Drukkerij van  
Santvoort, Eindhoven

ISBN 978-90-386-1681-0

NUR 841

Digitale versie:  
[www.tue.nl/bib/](http://www.tue.nl/bib/)

**Bezoekadres**

Den Dolech 2  
5612 AZ Eindhoven

**Postadres**

Postbus 513  
5600 MB Eindhoven

Tel. (040) 247 91 11  
[www.tue.nl](http://www.tue.nl)