

Natuurkunde leren is leren vertalen tussen representaties, hoe leer je dat?¹

Ed van den Berg, Vrije Universiteit en Hogeschool van Amsterdam

e-mail: e.berg@vu.nl; e.van.den.berg@hva.nl

Parallelezing op de 2014 “Woudschotenconferentie” voor natuurkundedocenten, Noordwijkerhout, 12 en 13 december 2014

Samenvatting

Natuurkunde leren en onderwijzen is “vertalen”: verschijnselen in taal “vertalen”; vertalen tussen lektaal en vaktaal; vertalen tussen taal en visuele representaties zoals plaatjes, diagrammen, grafieken, en symbolen; tussen taal en wiskundige representaties; tussen beschrijvende taal en modellen; tussen complexe modellen van specialisten en simpele modellen voor leerlingen. Kortom vertalen tussen de vele “talen” en representaties van natuurwetenschap. Dat vertalen wordt o.a. bemoeilijkt door andere betekenissen die bekende woorden aannemen in natuurkunde (kracht, energie), door misconcepties/denkbeelden van leerlingen die verrassend universeel zijn en dus onafhankelijk van taal(!), door redeneerconstructies en door het feit dat taal niet puur descriptief is maar ook interpretatief met o.a. fossielen van historische denkbeelden in onze vaktaal (warmte en elektriciteit als vloeistoffen); en uiteraard ook door motivatie van leerlingen om obstakels in dit vertaalproces te overwinnen. Of kun je toch veel natuurkunde leren zonder taal? Tenslotte zijn onze misconcepties ook zonder taal ontstaan en zijn er nu prachtige visuele, digitale hulpmiddelen? In de lezing wordt een aantal “vertaalproblemen” uitgewerkt en worden enkele praktische taalaanpakken aangereikt zoals verschillende soorten Directed Activities Related to Tekst (DARTs) die veelal neerkomen op stimuleren van heen-en-weer denken en vertalen tussen verschillende representaties.

Heen-en-weer denken tussen representaties




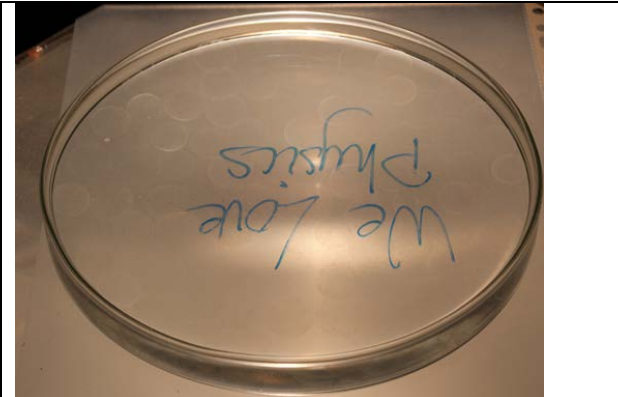


¹ Parallelezing, Woudschoten 12 en 13 december 2014.

Voorbeeld 1: planetenbanen

So, you see, the orbit of a planet is elliptical... Een eenvoudig zinnetje (figuur 1) dat zo uit een leerboek zou kunnen komen, en toch geeft de zin problemen. De leerlingen moeten niet alleen de woorden herkennen, maar ook de ruimtelijke voorstellingen die horen bij baan (orbit), planeet, en elliptisch. De taal moet beelden triggeren. Dan pas kan de zin begrepen worden.

Voorbeeld 2: demonstratie gelballetjes

Hoe komt het dat je een voorwerp ziet? Wat is een voorwaarde voor iets zien? We zien doordat een voorwerp licht uit de omgeving (van zon of lamp) verstrooit, o.a. in de richting van de observator. Een voorwaarde voor zien is dus dat het voorwerp de richting van lichtstralen verandert door (diffuse) reflectie of refractie.

	
Figuur 2a Gelballetjes in lucht op OHP (foto's door Stefan Dekker, demo door Wouter Spaan, beiden van de Hogeschool van Amsterdam).	Figuur 2b Schaaltje water met bericht
	
Figuur 2c Gelballetjes in lucht op scherm, licht onderuit de OHP wordt verstrooid door de balletjes, daardoor komen die donker op het scherm. Het bericht is onzichtbaar.	Figuur 2d Nu is water toegevoegd, de balletjes worden vrijwel onzichtbaar want er vindt nauwelijks verstrooiing meer plaats. De lichtstralen onderuit de OHP gaan nu rechtdoor.

De gelballetjes in figuur 2 staan in een bakje op de OHP. Ze vormen een wat donker beeld doordat licht onderuit de OHP verstrooid wordt en de lens bovenin de OHP en dus het scherm niet bereikt. Nu giet ik er water bij. Oef, de balletjes zijn niet meer zichtbaar, verdwenen (figuur 2d)? Met de hand in het glas kun je ze nog wel voelen. De balletjes bestaan bijna geheel uit water. De omgeving is ook

water. Dat betekent dat lichtstralen nu gewoon rechtdoor gaan. Ze worden niet gebroken op het oppervlak van de balletjes want aan beide kanten zit water.

Een geschreven verklaring staat in figuur 3. Die verklaring kan alleen door de lezer begrepen worden door heen-en-weer denken tussen 3 representaties. De eerste is de tekst, de tweede is een plaatje van het experiment oftewel het fenomeen, de derde is een door de lezer in zijn/haar hoofd geconstrueerd diagram van lichtstralen die invallen op de balletjes in lucht en in water en hoe die lichtstralen dan wel of niet van richting veranderen. Kortom, verklaren is heen-en-weer denken tussen taal en andere representaties.

Figuur 3 Verklaring van gelballetjes experiment in tekst

- Wanneer “**zien**” we een object? Als dat object lichtstralen verstrooit dus van richting verandert, o.a. richting ogen van de observator.
- **Zonder water:** bij de balletjes is er een overgang van licht naar water, de lichtstralen worden gereflecteerd of gebroken en verraden de aanwezigheid van de balletjes.
- **Met water:** nauwelijks reflectie, geen breking, lichtstralen gaan rechtdoor, balletjes onzichtbaar.

Einstein zei dat hij bij het bedrijven van natuurkunde dacht in beelden en dat de taal pas kwam wanneer hij ging communiceren met anderen. Denken gebeurt dus niet alleen in taal, maar ook met andere representaties zoals beelden, diagrammen, en grafieken.

Eindexamenprogramma

Figuur 4 Taaleisen in eindexamenprogramma's

Subdomein A2 Communiceren

2. De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digital in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

Subdomein A9 Waarderen en oordelen

9. De kandidaat kan in contexten een beargumenteerd oordeel geven over een situatie in de natuur of een technische toepassing, en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

Subdomein A13: Vaktaal

13. De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

Taal zit stevig in het examenprogramma (figuur 4). Een essentieel deel van leren van het vak natuurkunde is het kunnen praten over natuurkunde verschijnselen, het kunnen *redeneren met begrippen* over natuurkunde in techniek en in dagelijks leven en in maatschappelijke problemen zoals energievoorziening en klimaat. De consequentie is dat het leren praten over natuurkunde, het leren redeneren met vaktaal en begrippen, en het opschrijven daarvan geoefend moeten worden in natuurkunde lessen. Wordt dat voldoende gedaan? Er is buitenlands onderzoek dat laat zien dat minder dan 5% gebruikt wordt voor leerling redeneren. Bij onderwijsleergesprekken zijn steeds dezelfde leerlingen actief. De meerderheid oefent zelden in redeneren. Er zijn wel aardige methoden om redeneren te oefenen. Denk aan concept cartoons (figuur 5), aan Hewitt's Next-time-questions which

appear every month in *The Physics Teacher* and are downloadable (Hewitt, 2014), en denk ook aan kleine groepjes discussies over uitlegvragen in het boek of over de mooie conceptuele vragen in Hewitt's (2015) *Conceptual Physics*. Daarbij is wel kwaliteitscontrole nodig. In eerste instantie kunnen leerlingen elkaars antwoorden kritisch bekijken. Verder kan de docent rondlopen en enkele antwoorden fotograferen en op de beamer zetten voor discussie. Wat is er goed aan het antwoord, wat is er fout, wat kunnen we nog verbeteren in de redenering? Uiteindelijk moeten leerlingen self-assessment leren, ze moeten zelf leren kritisch naar hun eigen teksten te kijken en redeneringen te beoordelen. Pas als ze dit kunnen, voldoen ze aan de eisen van het examenprogramma.



Figuur 5 Concept cartoon over "vallen"(Naylor & Keogh, 2013)

Denken en taal

Wordt ons denken beïnvloed door taal, of bepaalt taal ons denken? De volgende twee quotes uit Sutton (1992) suggereren het laatste:

"...(language) becomes ugly and inaccurate because our thoughts are foolish, but the slovenliness of our language makes it easier for us to have foolish thoughts." - George Orwell

Sapir-Worf: The principle of linguistic relativity holds that the structure of a language affects the ways in which its respective speakers conceptualize their world, i.e. their world view, or otherwise influences their cognitive processes.

De Sapir-Worf hypothese is heel bekend, maar is noch door Sapir noch door Worf zelf geformuleerd maar wel onder hun naam bekend geworden. De hypothese klinkt aannemelijk. Als een taal slechts een beperkt vocabulaire heeft en een beperkte grammatica, dan moet dat het denken toch wel beperken? Bijvoorbeeld, als een Eskimo veel meer woorden voor sneeuw heeft, dan zullen die

Eskimo's veel gemakkelijker subtiele verschillen tussen soorten sneeuw herkennen? Evenzo zou een complexe grammatica complex denken mogelijk maken. Maar denken gebeurt niet alleen met taal maar ook met beelden en andere representaties. Taal is belangrijk in ons denken maar zeker niet alles bepalend.

Natuurkunde pre-concepties/misconcepties m.b.t. schoolnatuurkunde blijken universeel te zijn. Aristoteliaans denken over mechanica komt voor in alle culturen en taalgebieden. Aristoteliaanse mechanica wordt gevonden onder leerlingen in Papua Nieuw Guinea, Australia/Nieuw-Zeeland, Indonesie, de Filipijnen, Zuid-Afrika, Botswana, Duitsland, Zweden, Engeland, de VS en hetzelfde blijkt te gelden voor begrippen uit elektriciteit, warmteleer, en optica (Thijs & Berg, 1996). Dat is aan de ene kant erg verrassend, je zou verwachten dat taal en cultuur een grote invloed heeft op de vorming van begrip. Aan de andere kant kunnen juist de natuurkundige verschijnselen en ervaringen zelf een grote invloed hebben en die zijn overal in de wereld gelijk. Wel is het dan vreemd dat de gevormde preconcepties strijdig kunnen zijn met de verschijnselen, bv vallen grote stenen sneller dan kleine? Maar zo werken de hersenen blijkbaar. Conclusie: de invloed van taal op ons denken is beperkt want we denken niet alleen in taal, maar ook in beelden en in andere representaties. Die andere representaties zijn belangrijk in de natuurwetenschappen en vormen tools/werktuigen voor denken.

Objectieve taal of beeldende taal in natuurwetenschap?

In de wetenschap benadrukken we objectieve beschrijving en zeggen we vaak te streven naar neutrale taal in plaats van suggestieve beeldende taal. In de geschiedenis van de wetenschap blijkt dat sterk beeldende taal en analogieën en metaforen heel belangrijk zijn in de ontwikkeling van krachtige ideeën. Zie bijvoorbeeld de uitspraak van Faraday (figuur 6). Hij wilde ideeën vangen in beeldende en suggestieve taal.

You can hardly imagine how I am struggling to exert my poetical ideas just now for the discovery of analogies and remote figures respecting the earth, sun, and all sorts of things – for I think that is the true way (corrected by judgment) to work out a discovery.

Michael Faraday (1845) in a letter to C. F. Schoenbein

Figuur 6 Faraday over taal om zijn ontdekkingen te beschrijven.


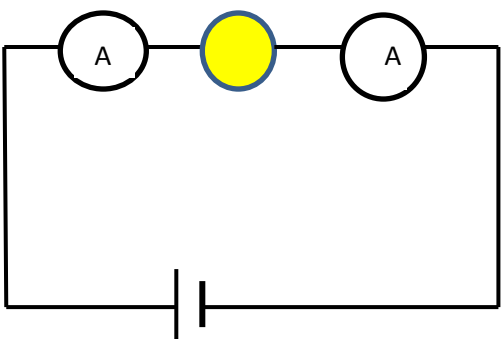
Als je een Bohr model zou moeten beschrijven in precieze taal, dan kan het behoorlijk ingewikkeld worden. Als je een Bohr model beschrijft als een klein planetenstelsel met veel lege ruimte en een kern als zon en elektronen als planeten, dan kun je met veel minder taal toe en heb je een krachtige metafoor die extra inzicht kan opleveren (bv leegte in atomen), maar die natuurlijk ook tot foute ideeën kan

leiden, bijvoorbeeld dat elektronen net als planeten een eigen identiteit zouden hebben. Analogieën en metaforen komen niet alleen veel voor in de populaire wetenschapsliteratuur, maar ook in de originele wetenschappelijke artikelen.

Clive Sutton (1992) in zijn prachtige boek (gratis downloadbaar) wijst ook op fossielen van historisch denken in onze taal. Denk aan elektriciteit met termen als *Leidse fles* en *capaciteit* die ontstonden uit het idee van elektrische vloeistof. Hetzelfde geldt voor calorische vloeistof, ooit bedacht door o.a. Lavoisier en Black om warmte transport te verklaren met termen als *warmtetransport*, *warmtecapaciteit* en *warmte reservoir*. Dit zijn levende fossielen want in de huidige leerboeken zijn


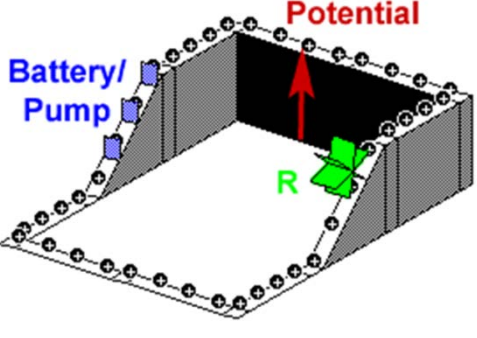
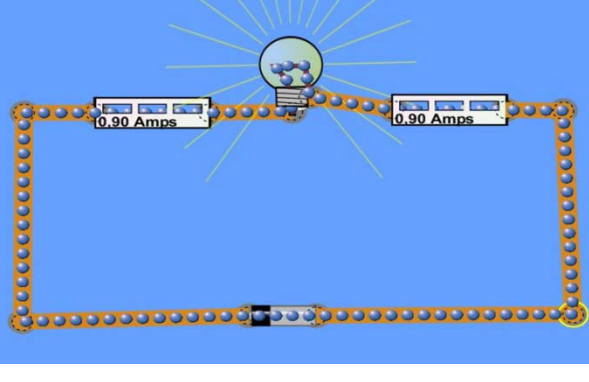
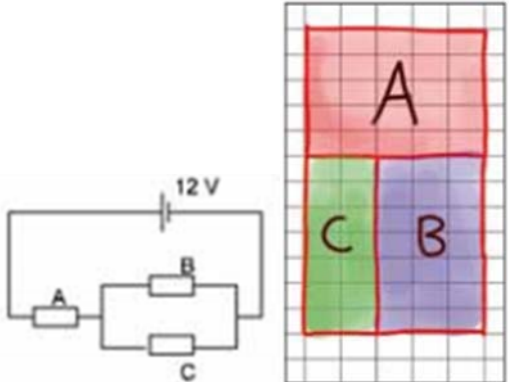
nog steeds veel zinnen te vinden die sterk suggereren dat warmte een substantie is die van de ene naar de andere plaats gaat. Brookes (2006) onderzocht een aantal bekende natuurkundeboeken voor 1^{ste} jaars studenten in de VS en vond talloze zinnen waarin dat warmtestromingsbeeld naar voren kwam. In één van onze Nederlandse leerboeken zag ik “warmte stroomt van stoffen met een hoge temperatuur naar stoffen met een lage temperatuur”, maar wat stroomt er nu precies? In elk geval niet iets materieels. Een energiestroom is misschien nog een acceptabele term, maar warmte stroom?

Representaties

	
<p>Figuur 7a De echte schakeling. Let op, er staan verschillende getallen op de meters, dat zou niet zo moeten zijn want ze meten dezelfde stroom. Wij wijten dit direct aan een verschil in calibratie, maar leerlingen zouden hierin een bevestiging van hun consumptie model kunnen zien (de lamp verbruikt elektronen). Zonder theorie kun je waarnemingen niet interpreteren!</p>	<p>Figuur 7b Schakeldiagram van lamp met twee ampèremeters om stroom in en stroom uit te meten.</p>

Figuur 7 geeft 2 representaties van een elektrische schakeling: de echte schakeling, een schakelschema. De echte schakeling is voor leken wat lastig te doorgronden met zijn chaos aan kabels en meters.

Drie van de vier representaties in figuur 8 hebben enige verklarende waarde over wat er in een schakeling gebeurt. Bij de stroomdeeltjes linksboven beseffen leerlingen onmiddellijk dat het om een ezelsbrug gaat. De brug, steiger, of “scaffold” wordt weggehaald zodra leerlingen een zekere mate van begrip hebben opgebouwd. De stroomdeeltjes (kaboutertjes) zijn behouden, de energie in de rugzakjes wordt omgezet in de lamp, de spanning is energie per lading of hier energie per stroomdeeltje dus de inhoud van het rugzakje. De analogie helpt om de variabelen stroom, energie, en spanning te leren onderscheiden. De energie per stroomdeeltje wordt bepaald door de spanning van de batterij. De energie die door een stroomdeeltje per component wordt afgegeven wordt bepaald door de spanning over die component. Sefton (2002) ageert fel tegen dit soort “carrier” analogieën in een artikel waar veel natuurkunde uit geleerd kan worden. Maar de analogie is effectief met klas 2 en 3 vmbo – vwo (Berg et al, 1993) en uitvoering van een bijpassend rollenspel (Berg, 2000) leidde tot zeer productief heen-en-weer denken tussen de schakeling en rollenspel representaties. Dat resulteerde in mijn studenten in lerarenopleiding in de Filipijnen in extra begrip. Als laatste rollenspel opdracht liet ik ze het opladen en ontladen van een condensator uitbeelden. Dan loop je tegen de grenzen van de analogie aan en krijg je mooie discussies over wat er nu precies gebeurt met elektronen en energie bij dat op/ontladen.

 <p>Fig 6.1 Transport van energie uit batterij naar lamp door stroomdeeltjes.</p>	
<p>Figuur 8a Stroomdeeltjes verlaten de batterij met rugzakjes vol energie (spanning is energie per ladingsdrager). Ze geven die af in de lamp en gaan terug voor meer. Deze analogie werd met succes gebruikt in vmbo t/m havo klas 2 en 3 om stroom, spanning, en energie te onderscheiden. Sefton (2002) geeft in een uitstekend artikel aan wat er fysisch mis is met dit soort analogieën, maar het leereffect was onmiskenbaar (Berg & Grosheide, 1995).</p>	<p>Figuur 8b Powerpoint animatie van de Leidse student Duynstee. Een model met positieve stroomdeeltjes die door de batterij naar hogere potentiaal worden gepompt en dan hun energie afgeven aan een rad. De meeste docenten zien liever negatieve stroomdeeltjes. Duynstee maakte ook powerpoint animaties voor meer complexe situaties.</p>
	
<p>Figuur 8c Elektronen gaan door de draden naar de lamp en geven daar energie af. Toevoegen van een batterij in serie laat een snellere stroom zien en meer licht. Of per stroomdeeltje dan ook meer energie wordt afgegeven in de lamp, is niet erg duidelijk in de simulatie.</p>	<p>Figuur 8d Rechts een handige representatie om vermogen en andere variabelen te berekenen in de schakeling van weerstanden A, B, en C. (Grondman & Pous, 2012). V staat verticaal, I staat horizontaal uitgezet. De helling van de diagonaal in elke rechthoek (U/I) blijkt de weerstand te zijn.</p>

Figuur 9 laat een opdracht zien voor voor 12-jarigen in de klas van Irena Dvorakova in Praag. Eerst moesten de leerlingen de waarheidstabel rechtsboven afmaken voor de schakeling links. Vervolgens moesten ze een schakeling bedenken die paste bij de waarheidstabel rechtsonder. Dat kostte ruim 20 minuten. Daarna controleerden ze met batterijen en lampjes of hun oplossingen klopten. Zie Berg & Dvorakova (2013) voor een uitgebreidere beschrijving van de lessenserie. De oefening vereist actief heen-en-weer denken tussen twee representaties van schakelingen (schema en tabel) en tenslotte ook tussen theorie en praktijk in het uitproberen van de schakelingen. Een *minds-on* oefening!!

Figuur 1 Schakeling met drie lampjes (L_1 , L_2 , L_3) en twee schakelaars (S_1 , S_2) met standen 0 (open, geen stroom) en 1 (gesloten, mogelijk wel stroom).

S_1	S_2	L_1	L_2	L_3
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			

Figuur 2 Tabel waarin leerlingen voor elke mogelijke configuratie van schakelaars in figuur 1 moeten invullen welke lampjes branden (aan te geven met 1) en welke lampjes niet branden (0).

S_1	S_2	L_1	L_2	L_3
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Figuur 3 Voor een andere schakeling (dus niet figuur 1) branden de lampjes zoals aangegeven in de tabel. Teken een schakeling die past bij deze tabel.

Figuur 9 Werkblad voor 12-jarigen in Praag

Vier representaties: verwarmen van pan + water **Vertalen tussen 4 representaties**

Q_{in} →

Systeem
pan
+ water

u_{th}

→ Q_{uit}

$\Delta U = Q_{in} - Q_{uit}$

De elektrische kookplaat wordt warm. Door geleiding wordt energie overgebracht naar pan + water (Q_{in}). De thermische energie van pan + water neemt toe. Er is ook energie die weg lekt naar de omgeving (Q_{uit}).

Figuur 10 Vier representaties van een energie transfer proces

Vier representaties voor het verwarmen van een pan + water. Rechtsonder de tekst, rechtsboven het plaatje van de situatie, linksboven een systeemdiagram en linksonder de energievergelijking. Het systeem diagram is gebaseerd op de systeembenadering van de DBK bovenbouw methode van 1991. Leerlingen bakenen steeds een systeem af en analyseren wat er aan energiestromen in en uit gaan. Dat kan in allerlei natuurkundeproblemen heel verhelderend zijn, vooral in de verkenningsfase van

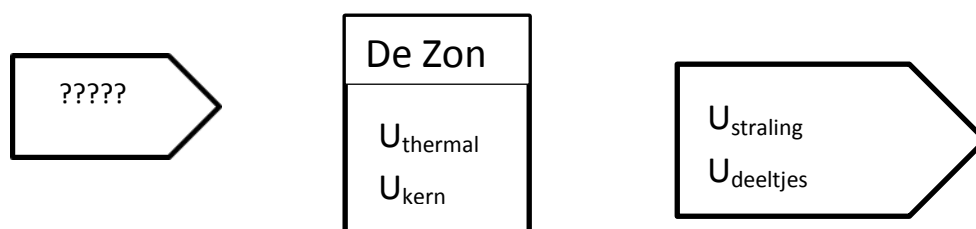
een probleem. Een nieuwe representatie kan ook tot ontdekkingen leiden. Bijvoorbeeld in de volgende opgave (Huis & Berg, 1993a):

4 havo/vwo DBK:

De zon levert energie door de kernreacties die erin plaatsvinden.

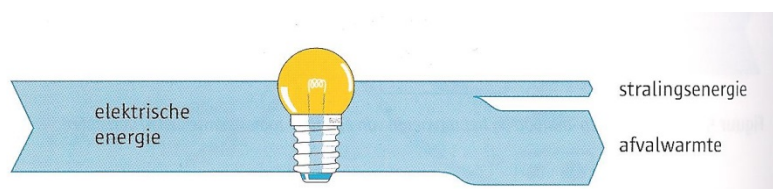
- Hoe zou je de energie-inhoud van de zon noemen?
- Teken de energiebalans van de zon.
- Stel de energievergelijking voor de zon op.

Een groepje leerlingen maakte onderstaand diagram en hun discussie werd opgenomen op audio. Er gaat veel energie uit de zon, maar wat komt erin? Ze konden niets bedenken, *maar dan raakt de zon op!* Dat was een probleem. Ze probeerden van alles en nog wat te bedenken, maar moesten uiteindelijk concluderen dat de zon op kan raken. De representatie leidde tot nieuw inzicht.



Figuur 11 Systeemdiagram van de zon

De systeembenadering was ook te vinden in de natuurkunde methode Newton (bv 2003 versie vwo hoofdstuk 7). Bij DBK was de ervaring van docenten dat de eerste keer implementeren veel moeite kostte, maar dat ze na een 2^{de} keer echt enthousiast werden over de methode. Rob Knoppert (1996), DBK schrijver/docent en voor jaren NRC columnist, zag de systeembenadering als een van de kroonjuwelen van DBK.



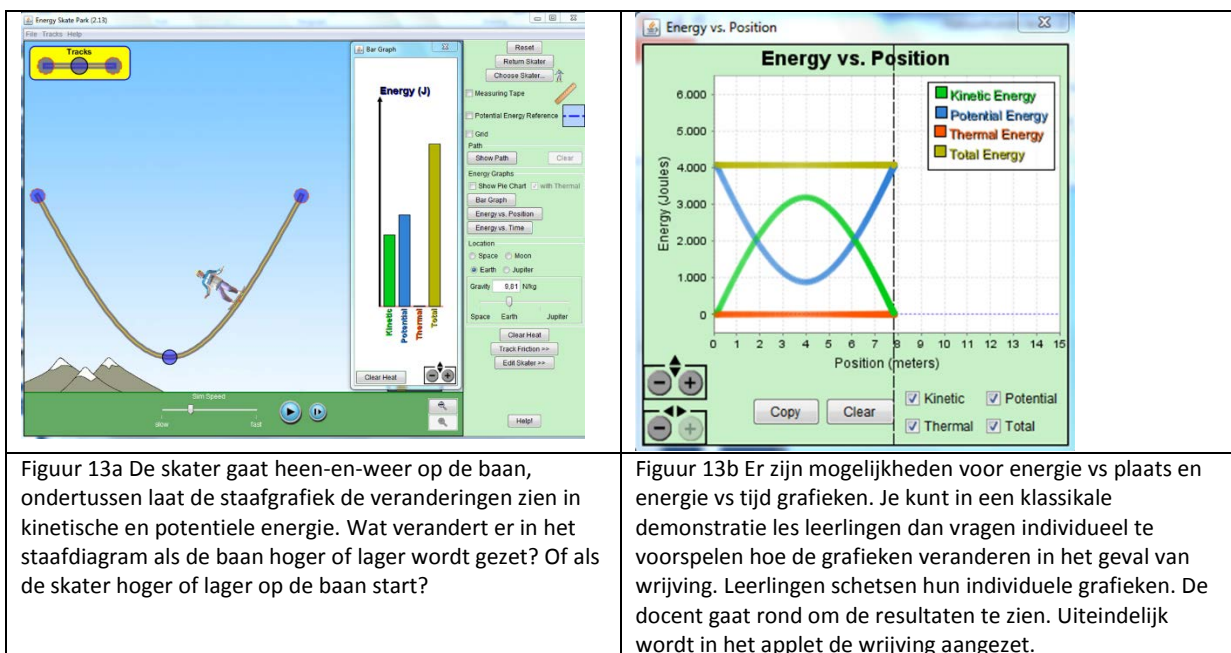
Figuur 12 Een iets andere systeemrepresentatie van Newton (versie vwo 2003, p178.)

Waar het hier om gaat: toepassen van de systeembenadering is wederom heen-en-weer denken tussen representaties: het systeemdiagram, de energievergelijking, tekst, en fenomeen (bv pan op kookplaat). Elke representatie voegt iets toe aan het begrip van het verschijnsel. Zo laat de DBK versie van de systeem benadering duidelijk zien dat warmte en arbeid geen vormen van energie zijn, maar processen van energietransfer van omgeving naar systeem of omgekeerd. Bij arbeid gebeurt dat d.m.v. een kracht van systeem op omgeving (energie van systeem neemt af) of een kracht van omgeving op systeem (energie van systeem neemt toe). Bij warmte gebeurt dat door een temperatuurverschil tussen omgeving en systeem. Arbeid en warmte bestaan alleen op de interface tussen systeem en omgeving of op te interface tussen twee systemen. Een beschrijving van de systeembenadering en fysische details is te vinden in Huis & Berg, 1993b).

PhET simulaties

Ook in PhET simulaties moet heen-en-weer gedacht worden tussen verschillende representaties (figuur 13) en het werken ermee wordt effectiever als dat heen-en-weer denken wordt afgedwongen door opdrachten en individuele verwerking ervan.

Veel PhET applets bieden de mogelijkheid om met meerdere representaties te werken en leerlingen voorspellingen te laten doen. In plaats van zo maar te vragen en antwoord te krijgen van de slimste leerlingen terwijl de rest passief toekijkt, is het veel beter iedereen eerst individueel te laten voorspellen op papier door bv een grafiek te schetsen. Vervolgens klassikaal bespreken en het antwoord met PhET illustreren op de beamer.



DARTs

Na al deze niet-talige representaties komen we terug bij taal zelf. Leerlingen moeten kunnen luisteren, praten, lezen, en schrijven over natuurkunde. **Ze moeten kunnen redeneren met vaktaal en begrippen.** Hoe kun je dat oefenen? Natuurlijk moet hun taalgebruik gecorrigeerd worden voor zowel natuurkunde als taal. Hoe kun je dat praktisch organiseren op zo'n manier dat het de leraar weinig correctietijd buiten de klas kost?

Figuur 14 bevat tips voor activiteiten met tekst. Er zijn veel mogelijkheden voor korte activiteiten. Neem bijvoorbeeld een alinea uit een leerboek (anders dan de gebruikte methode maar natuurlijk over het onderwerp dat behandeld wordt) of van het internet en hussel de zinnen door elkaar. Laat vervolgens de leerlingen die paragraaf herconstrueren door de zinnen op volgorde te zetten. Tenslotte verschijnt de oplossing op de beamer. Korte oefening, heel simpel, ook heel leerzaam. Of geef een alinea tekst en laat wat vaktaal weg en laat leerlingen invullen. Ook daar is feedback/correctie simpel. Mooier is leerlingen in kleine groepjes een discussie te laten voeren over begrips/uitlegvragen in het boek of uit Hewitt's Conceptual Physics, of naar aanleiding van concept

cartoons, of Hewitt's Next-Time-Questions. Ze vinden dat vaak heel interessant. Je kunt eisen dat ze een aantal antwoorden heel precies geformuleerd opschrijven alsof het een eindexamen was. De docent gaat rond, fotografeert er een paar, zet die op de beamer en gaat met de klas na wat er nog ontbreekt of fout is. Dat is een vorm van feedback op kwaliteit die de docent geen tijd kost buiten de klas. Twee collega's gebruikten een powerpoint over elektrische schakelingen die was meegeleverd met het leerboek. Leerlingen werden in groepjes neergezet. De meerkeuze begripsvragen in de powerpoint werden in de groepjes kort besproken (redeneren met begrippen!) en dan volgde een stemming over het antwoord. Bij sommige vragen werd direct individueel gestemd zonder discussie vooraf. Op deze manier konden de docenten redelijk goed volgen waar de begripsproblemen zaten, bij welke problemen en bij welke leerlingen. Dit werkte goed in een klas met 32 klas 4 vwo leerlingen.

Table 1. DARTs

Reconstruction Activities (use modified text)	Analysis Activities (use straight text)
<i>Text completion</i> Predicting deleted words (cloze), sentences, or phrases.	<i>Underlining</i> Searching for specific target words or phrase that relate to one aspect e.g. key words.
<i>Diagram completion</i> Predicting deleted labels on diagrams using text and other diagrams as sources.	<i>Labeling</i> Labeling segments of text which deal with different aspects, e.g. labeling scientific account.
<i>Table completion</i> Completing deleted parts of a table using table categories and text as sources of reference.	<i>Segmenting</i> Segmenting of paragraph or text into information units.
<i>Completions activities with disordered text</i> Predicting a logical order for a sequence and classifying segments according to categories given by the teacher.	<i>Diagrammatic representation</i> Constructing diagram from text e.g. using diagrams, concept maps, mind maps, and labeled model.
<i>Prediction</i> Predicting next part of text with segments presented in sequence.	<i>Tabular presentation</i> Constructing and representing information in tabular form, extracting from a written text.

Figuur 14 Suggesties voor leren werken met tekst

Het ultieme taal en natuurkunde werk: St Vitus College

In 1974 liep ik stage op het St. Vitus College in Bussum om te zien hoe je groepswork kon gebruiken in natuurkundeonderwijs. Men had toen al lesmateriaal ontwikkeld voor 2^{de} t/m 4^{de} klas natuurkunde. Aan het begin van het schooljaar werden vaste groepjes van 4 gevormd. Het lesmateriaal bestond uit vragen. Er waren feitenvragen, uitlegvragen, rekenvragen, vragen die korte proeven vereisten. Elk groepje werkte die vragen af en formuleerde steeds als groepje antwoorden die elke leerling opschreef. Eén leerling schreef met carbon papier (jaren 70) en de kopie van de antwoorden werd aan het eind van de les ingediend. De docent keek die kopie voor de volgende les na en gaf fouten aan (zonder meteen het goede antwoorde te geven) die de volgende les eerst door het groepje besproken en verbeterd moesten worden. Dat waren 7 of 8 groepjes per klas om na te kijken. Prachtige kans voor leerlingen om te leren redeneren met natuurkundebegrippen en met

bewijsmateriaal uit experimenten en de redeneringen netjes te formuleren. Prachtige kans voor de docent om veel meer te leren over typische leerling ideeën en fouten. Regelmatig was er een sectievergadering om het lesmateriaal kritisch te bekijken, typische antwoorden van leerlingen te bespreken, en uiteindelijk suggesties te genereren voor verbetering van lesmateriaal en didactiek. Daar nam men de tijd voor, vaak 's avonds. Dit alles gebeurde onder leiding van Bart Westerveld en Wil Schraven. 1974 was nog ruim voor de grote golf van misconceptie studies in de jaren 80, maar op het St. Vitus wisten ze dus al heel wat van misconcepties. Ik weet dat materiaal en methode in de jaren 90 nog werden gebruikt. Wie weet nu nog. Dit was een mooie en consistente manier om natuurkundig formuleren te leren. Misschien uiteindelijk toch wat saai om elke les weer in hetzelfde groepje te zitten met dezelfde methode, maar je kunt deze vorm ook gebruiken in afwisseling met andere werkvormen. Het sterke punt is de strenge eis een precies groepsantwoord te formuleren en dat als docent na te kijken (7 of 8 groepjes in plaats van 28 leerlingen), en een volgende keer de groepjes foute antwoorden te laten verbeteren.

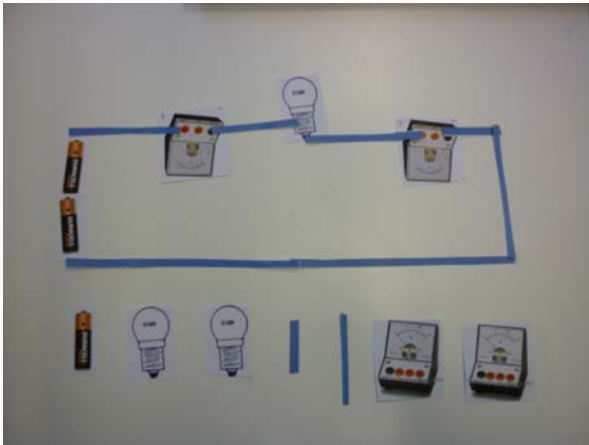
Er zijn nog veel meer methoden te bedenken om leerlingen aan het redeneren en formuleren te krijgen en handige methoden om efficiënt zonder al te veel correctietijd feedback te geven. Zo presenteerde Michel Philippens op deze 2014 Woudschoten conferentie een methode waarin leerlingen antwoorden formuleren op een ipad, zelf nakijken met een antwoord model, en dan worden de antwoorden gecirculeerd naar andere leerlingen of groepjes van twee die nogmaals nakijken. Het nakijken door anderen blijkt veel kritischer en nuttig. Zo is er nog veel meer te bedenken.

Ga er maar aan staan, succes!

Literatuur

- Berg, E. van den, Grosheide, W., Breedijk, J., Schouten, A. (1993). De kracht van analogieën. *NVON Maandblad*, 18(2), 62-63.
- Berg, E. van den (2000). Rollenspel. Verkrijgbaar van de auteur (e.berg@vu.nl).
- Berg, E. van den, Dvorakova, I. (2013). Elektrische schakelingen voor kinderen in groep 8 in Praag! *NVOX*, 38(9), 428-429.
- Brookes, D. (2006). The Role of language in learning physics. PhD thesis, Rutgers University.
- Hewitt, P.G. (2015). *Conceptual Physics* (12th edition). Pearson. (Oudere edities zijn ook te koop en goed).
- Hewitt, P.G. (2014). Next-time-questions. <http://www.arborsci.com/next-time-questions>
- Huis, C. van, Berg, E. van den (1993a). He de zon raakt op, *NVON Maandblad*, 18(1), 16-19.
- Huis, C van., Berg, E. van den (1993b). Teaching energy: A systems approach. *Physics Education*, 28(3), 146-153.
- Knoppert, R. (1996). De Titanic onder de schoolboeken. *NVOX* (21), 62-63.
- Licht, P. et al (1991). DBK 4 havo-vwo, Hoofdstuk 9. 's-Hertogenbosch, Malmberg.
- Sefton, I. M. (2002). Understanding Electricity and Circuits: What the Text Books Don't Tell You http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/current/teach/module_home/px263/lectures/sefton.pdf
- Sutton, C. (1992). *Words, Science and Learning*. Open University Press. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED371952.pdf>
- Thijs, G.D., Berg, E. van den (1995). Cultural factors in the origin and remediation of alternative conceptions in physics. *Science and Education*, 4, 317-347.

Bijlage: papieren schakelingen



Figuur 14 Papieren schakeling van een lampje met twee Amperemeters

In een practicumcursus met studenten in lerarenopleiding in Indonesia in de jaren 80 dacht ik dat ik heel goed practicum had gegeven. Gelukkig had ik ook een practicum toets waar studenten individueel moesten laten zien dat ze schakelingen konden maken en correct konden meten. Tijdens de toets vloog de ene na de andere zekering uit de voedingsapparaten. De oorzaak: studenten hadden in groepen van vier gewerkt en er was een rollenpatroon ontstaan

waarbij dezelfde student steeds de schakelingen maakte en anderen toekeken. De sessie na de toets deed ik een oefening met papieren

schakelingen. Ik had genoeg papiertjes geknipt (figuur 14) om studenten individueel te laten werken. Telkens tekende ik een schakeling op het bord met een officieel schakeldiagram en studenten moesten die individueel met papier maken. Ik liep snel rond en kon in enkele seconden zien of een schakeling goed was. Dan een kleine wijziging in de schakeling op het bord, weer rondlopen. Dan een opdracht een ampèremeter in de schakeling te zetten om de stroom in zeg lampje 3 te meten. Weer liep ik rond om te controleren. Na 20 minuten oefenen ging het veel beter. Verder lette ik bij practicum beter op dat rollen gewisseld werden. Bij de volgende practicumtoets ging het veel beter. Later bij practicumlessen in de Filippijnen paste ik de papieren schakeling methode met succes toe. Twintig minuten voor het eerste elektriciteitspracticum was heel nuttig. De papieren schakeling is een mooie "tussenschakel" tussen de boekdiagram presentatie en de werkelijke schakeling.