

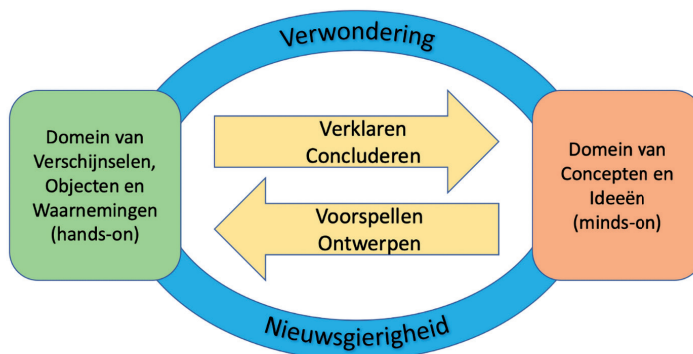
## Heen-en-weer-denken bij demonstraties

In de natuurwetenschap staat het beschrijven en verklaren van verschijnselen centraal. Beschrijven en verklaren ontwikkelt zich van dagelijkse taal naar vaktaal en uiteindelijk naar ordening van begrippen in een theorie of model. Daaruit komen hypothesen en voorspellingen die we toetsen door terug te gaan naar het verschijnsel. De zo 'verscherpte' theoretische bril maakt dat we meer zien dan de eerste keer. Nieuwe observaties roepen nieuwe vragen op en zo ontwikkelt het begrip van het verschijnsel in een proces van observeren, reflecteren/vragen, en experimenteren. Dit iteratieve en dynamische proces van heen-en-weer denken tussen empirie en theorie in elke stap van het proces is een correctere beschrijving van wetenschap dan de vaak beschreven 'lineaire wetenschappelijke methode' van onderzoeksvraag naar experiment tot conclusies.

Om heen-en-weer-denken goed te kunnen definiëren, maken we onderscheid tussen het domein van verschijnselen, objecten en waarnemingen ('hands-on') en het domein van begrippen en ideeën ('minds-on'), zie figuur. Een heen-en-weer-denk-activiteit is een activiteit waarbij je in één redenering een hands-on-aspect en een minds-on-aspect gebruikt en aan elkaar koppelt. Als voorbeeld bekijken we een demonstratie waarbij de docent een vloeistofkolom maakt van 'gestapelde' vloeistoffen met verschillende dichtheden (Showdefysica 1, pagina 144-145), waarin enkele voorwerpen zich op een grensvlak bevinden. In het domein van *verschijnselen, objecten en waarnemingen* bevinden zich waarnemingen zoals de gelaagdheid en de precieze plaats van de voorwerpen. In het domein van *concepten en ideeën* liggen de achterliggende concepten als volume, massa, dichtheid en opwaartse kracht. Wanneer je een redenering formuleert als "het voorwerp bevindt zich op het grensvlak van water en olie dus zal de dichtheid van het voorwerp tussen die van olie en water zitten", dan ben je aan het heen-en-weer-denken (HWD).



Vloeistof kolom van 'gestapelde' vloeistoffen



In het domein van objecten en waarnemingen observeren en meten we. In het domein van concepten en ideeën proberen we te redeneren met theorieën in hun onderlinge samenhang. Tussen die twee domeinen kunnen we heen-en-weer-denken met activiteiten in vier categorieën.

---

Het heen-en-weer denken is schematisch weergegeven in de figuur. Links staat de wereld van verschijnselen waarin we observeren en meten en rechts de wereld van concepten en ideeën waarin we redeneren met begrippen en modellen. De connecties zijn de 'heen-en-weer' activiteiten, geordend in vier categorieën *verklaren*, *concluderen*, *voorspellen* en *ontwerpen*. Bij *verklaren* en *concluderen* gaan we van verschijnselen naar theorie. Bij *voorspellen* is de richting omgekeerd en gebruiken we de theorie om uitspraken te doen over (mogelijke) verschijnselen en metingen. We *ontwerpen* experimenten om die voorspellingen te testen. Die concepten en ideeën kunnen zowel macroscopisch zijn (temperatuur, energie, massa, dichtheid, concentratie) als microscopisch (deeltjes, atomen, moleculen, elektronen). Het doen van waarnemingen en het leren van nieuwe ideeën, kan verwondering en nieuwsgierigheid opleveren, waardoor er constant nieuwe vragen ontstaan, die we moeten beantwoorden in beide domeinen. Een demonstratie met mogelijkheden in alle categorieën is bijvoorbeeld 'Kracht en beweging met een bowlingbal'(B03).

De leerdoelen van practica en demonstraties vereisen meestal heen-en-weer-denken, terwijl er in een practicum vaak vooral aandacht is voor handelingen en verschijnselen. Het is daarom een didactische uitdaging om de wereld van verschijnselen te verbinden met de wereld van begrippen en modellen. Demonstraties zijn zeer geschikt om die verbinding te bewerkstelligen omdat de docent (veel) vaardiger is in de hands-on-aspecten en zich niet meer door het pure verschijnsel zal laten afleiden. Een goed voorbeeld hiervan is 'Lichtsnelheid in een vloeistof'(B44).

Bij *verklaren* gaan leerlingen op zoek naar een natuurwetenschappelijke verklaring voor een waarneming of beschrijven ze die waarneming met behulp van vaktaal. In plaats van leerlingen zelf een verklaring te laten formuleren, bieden concept cartoons de mogelijkheid om leerlingen een verklaring te laten selecteren. Demonstraties waarin verklaren een grote rol speelt, zijn bijvoorbeeld 'Led aansteken en uitblazen'(A14), 'Koken door afkoelen'(B18), 'Schaduw van een vlam'(B22) en 'Een fontein in een kolf'(A07).

*Concluderen* gaat over het vinden van een algemene regel of het vinden van een bepaalde waarde die niet direct gemeten kan worden, zoals de zwaartekrachtsversnelling. Zo'n algemene regel kan een wiskundig verband zijn. Uitspraken over een eigenschap van een object of een stof, horen ook bij *concluderen*, zoals het wel of niet geleiden van elektrische stroom. Een conclusie is pas compleet als die ook is onderbouwd, hetgeen extra heen-en-weer-denken vraagt, zoals bijvoorbeeld duidelijk wordt in 'Meten aan 'sterren''(B35). Nadenken over de nauwkeurigheid van een bepaling gebeurt in 'Bepaling van  $g$ '(A03) aan de hand van een concept-cartoon. Andere demonstraties waarin concluderen centraal staat, zijn bijvoorbeeld 'Natuurkunde van de panfluit'(B32), 'Staande golf met een elektrische tandenborstel'(B27) en 'Schoenendoosbeamer'(B29).

Bij *voorspellen* gaat het om voorspellingen van waarnemingen op basis van theorie, dus niet op basis van een gok, en met onderbouwing. Die onderbouwing kan komen vanuit legitieme natuurkundige voorkennis, maar ook vanuit populaire misconcepties op basis van "alternatieve theorieën". Voorspellen combineert goed met verklaren. Demonstraties waarin dat gebeurt, zijn bijvoorbeeld 'Vlammen op de draaitafel'(B01) en 'Vreemde fietslampjes?'(B53). Andere demonstraties waarin voorspellen een centrale rol

speelt, zijn bijvoorbeeld 'Heuvel op, heuvel af'(B09), 'Afkoelen van metalen bollen'(B24) en 'Kirchhoff'(B54).

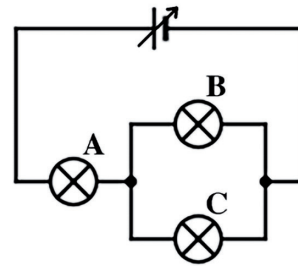
*Ontwerpen* betreft onder andere het ontwerpen van een experiment in het kader van onderzoek, maar ook een technisch ontwerp. Alhoewel ontwerpen bij demonstraties meestal niet centraal staat, kunnen aspecten ervan aan bod komen met een vraag als "Als ik ... wil bereiken, wat moet ik dan veranderen aan de opstelling?". Dit speelt in 'Lorentzkracht op geladen deeltjes'(B51), 'Radiometer van Crookes'(A15) en 'Goochelen met spiegels'(B56).

Zodra leerlingen theorieën en concepten koppelen aan waarneembare verschijnselen, ontstaan nieuwe vragen die een kans bieden om het heen-en-weer-denken verder te stimuleren. Soms kan dat al door de leerlingen uit te dagen de vraag te formuleren met de eerder geleerde vaktaal, hetgeen het essentiële belang van de juiste taal duidelijk maakt. Neem als voorbeeld een demonstratie waarbij een grote en een kleine steen worden losgelaten en tegelijkertijd de grond raken. Zou het verschil maken als je een heel klein steentje neemt? Krijgen we dezelfde waarneming als ze van grotere hoogte vallen? Wat gebeurt er als je een veertje aan één van de stenen vastmaakt? Als de leerlingen worden uitgedaagd om die vragen met concepten te formuleren dan moeten ze termen als luchtwrijving, zwaartekracht en eventueel traagheid, gaan gebruiken. Correcte vaktaal is essentieel omdat je zonder niet tot een beantwoordbare vraag kunt komen.

Vaak zijn verschillende didactische routes mogelijk om de leerlingen te laten heen-en-weer-denken. De docent kiest vooraf welke heen-en-weer-denken -opdrachten de leerlingen gaan uitvoeren en welke deze keer niet aan bod komen. Als voorbeeld bekijken we een PEOE demonstratie van een elektrische combi-schakeling, zie figuur. De docent kiest ervoor om te focussen op de concepten (vervangings)weerstand en stroomsterkte via *voorspellen* en *verklaren*. De startvraag is

wat er gebeurt met de felheid van lampjes B en C als je lampje A losdraait. Je kunt leerlingen helpen door meerkeuze-opties. Na een korte uitwisseling van antwoorden en argumenten draait de docent lampje A los. Lampje B en C blijken uit te gaan. De verklaring hiervoor wordt klassikaal gezocht én gekoppeld aan de begrippen weerstand (wordt zeer groot) en stroomsterkte (wordt nul). Je draait lampje A nu weer vast en vraagt wat er gebeurt met de felheid van lampjes A en C als je lampje B losdraait. De leerlingen moeten nu zelf een antwoord met onderbouwing formuleren. Opnieuw is er een uitwisseling van ideeën voordat je lampje B losdraait. Vervolgens geef je de opdracht om in tweetallen te bedenken waardoor de eerder gegeven incorrecte verklaringen (die er ongetwijfeld waren) onjuist kunnen zijn om daarmee uiteindelijk de juiste verklaring te vinden. Deze versie van de verklaar-opdracht levert sterk heen-en-weer-denken op. Tot slot zorg je dat je de concepten (vervangings)weerstand en stroomsterkte op de juiste wijze aan de verklaring koppelt.

Met een andere insteek en via andere heen-en-weer-denken activiteiten, kunnen ook andere concepten ontwikkeld worden. Bijvoorbeeld het tekenen van het schakelschema op basis van duidelijk zichtbare draden (gebruik een camera!). Dan denken de leerlingen



Combi-schakeling.

heen-en-weer tussen de abstracte representatie van het schakelschema en de concreet gebouwde schakeling. Nog een andere manier is om leerlingen te vragen wat er aan de schakeling moet veranderen om alle drie de lampjes op het juiste vermogen te laten branden zonder een extra lampje toe te voegen, een ontwerp-activiteit. Mogelijkheden te over. Onze taak als docent is om daaruit een passende selectie te maken om zo goed mogelijk het conceptuele begrip te ontwikkelen!

### Hoe brengen we heen-en-weer-denken in de didactiek van demonstraties

Dat kan in een degelijke **voorbereiding** van de demonstratie:

1. Maak een lijst van verschijnselen die in de demonstratie waarneembaar zijn.
2. Maak een lijst van de begrippen bij de verschijnselen. Welke begrippen passen bij het leerdoel?  
Het werkt goed om de stappen 1 en 2 te doen terwijl je zelf bezig bent met de opstelling.
3. Welke verschijnselen leiden alleen maar af en zorgen voor ruis? Welke begrippen wil je juist vermijden om ruis te voorkomen?
4. Bedenk een stappenplan voor de demonstratie met expliciete aandacht voor de heen-en-weer-denken vragen die je gaat stellen en de opdrachten die je gaat geven.

Zie 'Kracht en beweging met een bowlingbal'(B03) en 'Lorentzkracht op geladen deeltjes'(B51) voor uitgewerkte voorbeelden van het stappenplan.

### Literatuur

Berg, E. van den (2012). Natuurwetenschap en Techniek: heen-en-weer denken tussen begrippen en verschijnselen, redeneren met begrippen en met bewijsmateriaal. *NVOX*, 2012, 37(4), 176-177.

Naylor, S., Keogh, B. (2010). *Concept cartoons in Science Education (revised edition)*. Millgate House Publishers, United Kingdom.

Osborne, J. (2011). Science teaching methods: a rationale for practices. *School Science Review*, December 2011, 93(343), 93-103.

Spaan, W. Oostdam, R., Schuitema, J. & Pijls, M. (2022) Analysing teacher behaviour in synthesizing hands-on and minds-on during practical work, *Research in Science & Technological Education*, DOI: 10.1080/02635143.2022.2098265