

Demonstraties-doen!

Demonstraties zijn fantastisch. Ze bieden zoveel mooie mogelijkheden dat we er eigenlijk in iedere natuurkundeles minstens ééntje zouden moeten doen. Dat lukt misschien niet altijd, maar het bezwaar 'welke demo dan?' gaat niet meer op. Je hebt nu immers deze bundel in handen!

Wat kun je dan precies bereiken met demonstraties? De globale leerdoelen kun je als volgt indelen:

- "De leerlingen leren de theorie beter te begrijpen door hem te koppelen aan de wereld om hen heen", horen wij vaak. "De leerlingen leren de wereld om hen heen beter te begrijpen door hem te koppelen aan de theorie" vinden wij ook erg belangrijk. Dit is '*natuurkunde leren*'.
- Demonstraties motiveren leerlingen, roepen plezier op in natuurkunde, wekken interesse voor het vak, ontwikkelen fascinatie voor de verschijnselen. Ze dragen bij aan inzicht in de beweegredenen van natuurkundigen en aan waardering voor hun prestaties. Dat heet '*leren over natuurkunde*'.
- Je leert leerlingen de wereld om hen heen zelf te onderzoeken. Ze leren wetenschappelijke vragen te stellen, en die op basis van waarnemingen te beantwoorden, met alles wat er nodig is om dat voor elkaar te krijgen. Ze leren '*natuurkunde te doen*' (naar Hodson, 1993).

Dit boek kun je natuurlijk lezen, maar het is vooral de bedoeling dat je *zelf* de beschreven activiteiten in je klas uitvoert en ze naar je eigen wensen aanpast. We hadden bij het kiezen en uitwerken van de demonstraties daarom steeds een docent voor ogen die in zijn of haar klas activiteiten willen realiseren waarvan iets waardevols wordt geleerd. In dit boek hebben we, net als in het vorige, de demonstraties ondergebracht in delen A, B en C.

Deel B bevat de demonstraties waarin het vooral om begripsontwikkeling gaat, om 'natuurkunde leren'. De demonstraties in deel C laten bij uitstek fascinerende en enthousiasmerende natuurkunde zien, en zijn gericht op 'leren over natuurkunde'. Ze zijn mede geschikt om bijzondere gelegenheden op te fleuren.

Demonstraties gericht op begripsontwikkeling zijn in Showdefysica (2015) al uitvoerig belicht. Na een inleiding op de delen A, B en C in dit hoofdstuk bespreken we in het volgende hoe je de ontwikkeling van vaardigheden en het 'natuurkunde doen' voor elkaar krijgt in demonstraties.

Met demonstraties kun je heel goed aan de ontwikkeling van de natuurwetenschappelijke vaardigheden werken. Vaardigheden die nodig zijn om 'natuurkunde te doen'. De demonstraties in deel A zijn er al geschikt voor. Alle overige demonstraties zijn daar echter ook prima en eenvoudig geschikt voor te maken. Na een inleiding op de delen A, B en C in dit hoofdstuk bespreken we in het volgende hoe je de ontwikkeling van vaardigheden en het 'natuurkunde doen' voor elkaar krijgt in demonstraties.

Deel A - Natuurwetenschappelijke vaardigheden

Demonstraties lijken een beetje vergeten als onderwijsactiviteit. Zo wordt voor 'leren onderzoeken' met name het inzetten van leerlingpractica aangemoedigd waarin

leerlingen vooral veel zelf doen. Ze kiezen dan bijvoorbeeld zelf het doel en de aanpak van het onderzoek. Wij zijn vóór zulke practica, die mogen best vaker worden gedaan. Maar we weten ook dat *echt* onderzoek doen *echt* lastig is. Zo gaat er enorm veel tijd zitten in het opzetten en werkend krijgen van je opstelling en in het verzamelen en begrijpelijk weergeven van de waarnemingen. Echt onderzoek doen is een kwestie van prutsen, uitproberen, diep nadenken, aanrommelen, systematisch werken en zorgvuldig verwerken, goed bijhouden wat je doet en desnoods helemaal opnieuw beginnen. Met weinig onderzoekservaring gaat er veel fout als je je eigen keuzes volgt. Het is lastig voor je leerlingen om gemotiveerd te blijven als het onderzoek erg veel moeite kost, want zó nodig hoefden ze het antwoord nu ook weer niet te weten.

Het gepruts levert 'ruis' op die er vaak voor zorgt dat leerlingen wel veel *doen* in practica maar niet toekomen aan *denken*. Dat doen ze dan pas thuis bij het maken van het verslag, zonder de hulp van de docent en van elkaar. In een demonstratie nemen alle leerlingen hetzelfde waar, delen ze de data en benutten ze de expertise van de docent, bijvoorbeeld bij het gebruik van apparatuur en het onderscheiden van wat wel en niet van belang is. Als docent kun je daarom in een demonstratie bij je leerlingen het denken over de betekenis van de data en de relatie tussen theorie en praktijk juist *wel* optimaal stimuleren. Dat bevordert zowel de ontwikkeling van vaardigheden bij 'natuurkunde doen' als de begripsontwikkeling bij 'natuurkunde leren'. Demonstraties zijn daarbij minstens zo waardevol als leerlingpractica.

In deel A van deze bundel worden je leerlingen in de rol van onderzoeker geplaatst zodat zij 'natuurkunde doen' en de daarbij benodigde natuurwetenschappelijke vaardigheden ontwikkelen. Demonstraties zijn dan een oefentuin waarin je met je leerlingen het *wat en waarom* van onderzoek oefent. In het volgende hoofdstuk wordt dit idee verder uitgewerkt, gekoppeld aan de overige demonstraties in deze bundel en van praktische tips voorzien.

Deel B - Begripsontwikkeling

Meer dan de helft van de demonstraties in dit boek draagt direct bij aan de begripsontwikkeling. Er wordt in die demonstraties een fysisch concept verhelderd, een model gepresenteerd, een fenomeen of natuurwet geïllustreerd en/of een leerlingdenkbeeld getoetst. In de beschrijving geven we steeds suggesties waarmee je de leerlingen aan het denken zet en ervoor zorgt dat ze er samen uitkomen, vóórdát je als docent de puntjes op de i zet.

Concepten verhelderen

Een nieuw concept krijgt pas betekenis als je het kunt *verbinden* met de concepten die je al kent en met je ervaringen (White, 1988). Demonstraties zijn daarin van groot belang want ze zorgen voor ervaringen waarin je leerlingen hun bestaande concepten kunnen gebruiken om aan een nieuw concept betekenis te geven. In deze bundel varieert dat van eenvoudige begrippen (C01 *Vacuümslop*, 845 *Kun je licht zien?*), via wat lastigere (841 *Resonantie in een buis*, 844 *Koudestraling??*) tot behoorlijk moeilijke gevallen (819 *Corio liskracht*).

Demonstratie-ervaringen kunnen een begrip (meer) betekenis geven. Het omgekeerde kan ook: je kunt begrippen specificeren om bijzondere ervaringen (meer) betekenis te geven. Dat klinkt ingewikkeld tot je het concreet maakt. Zo helpt de term 'sublimatie'

om de waarnemingen in B04 *Sublieme mottenbal/en* te beschrijven. Het nieuwe begrip rotatietraagheid helpt in demonstratie B09 om te beschrijven wat er gebeurt. Zo ook maakt het traagheidsmoment in B14 de Bezem begrijpelijk en draagt het begrip krachtmoment bij aan het probleem '*Fiets voor- of achteruit?*' in B20.

Model presenteren

Vaak kunnen we een verschijnsel niet rechtstreeks bestuderen omdat het te groot, te traag, te ver, te duur of te gevaarlijk is. Soms kun je dan in een demonstratie een verschijnsel onderzoeken dat sterk *lijkt* op het origineel. Daarna bespreek je de overeenkomsten en verschillen tussen de demo en het origineel met je leerlingen. Deze aanpak wordt toegepast in o.a. B29 *Gesteentemechanica met rookworst*, en B49 *Gloeilamp als zon*.

Deeltjesmodellen van materie zijn enerzijds enorm krachtig: op basis van een paar simpele aannames over het gedrag van de deeltjes worden allerlei complexe eigenschappen van de materie opeens begrijpelijk. Maar die modellen zijn ook lastig: zo nemen leerlingen vaak aan dat atomen zelf ook een temperatuur, vorm en kleur moeten hebben. In deze demonstratievorm draag je de leerlingen op zich te gedragen zoals de deeltjes. Zo kunnen ze concreet processen ervaren die lijken op de abstracte processen die het deeltjesmodellen verklaart. Dit kan ze helpen het model van het origineel te onderscheiden. Het kan inzicht geven in hoe deeltjesmodellen een proces begrijpelijk maken. Demonstraties in dit boek verhelderen op die manier deeltjesmodellen voor faseovergangen, transversale golven (Levende Natuurkunde, p. 22), *Lampjes en weerstanden* (B32), en het gedrag van een vloeistof (A07 *Bernoulli begrepen*). De leerlingen zelf kunnen ook dienen als demonstratieobject, instrument, of hulpmiddel in een simulatie. Bijvoorbeeld in demonstratie *Zwaartepunten* (C06) laat de docent de leerlingen zelf voelen wat hun eigen zwaartepunt is en hoe het lichaam zichzelf bij allerlei bewegingen automatisch corrigeert om de stabiliteit te bewaren. Er zijn ook allerlei demonstraties denkbaar rond de fysica van onze zintuigen, zoals de dominantie van het ene oog over het andere bepalen, of het kleinere gezichtsveld voor kleuren vergeleken met kleurloos zien, of het frequentiebereik van het gehoor meten, of verschil in buiging van hoog- en laagfrequente tonen waarnemen (B25, *Een vinger of je hele hand*). Ook zijn er demonstraties denkbaar rond fysiologische verschijnselen zoals ademhaling, hartslag en bloeddruk. Betrokkenheid bij de les kan ook worden vergroot door leerlingen te gebruiken in simulaties. Bekend is het lopen van grafieken (A11, *Lijnen lopen*). Coach geeft een grafiek en leerlingen met een ultrasound sensor proberen de beweging in de grafiek zo precies mogelijk na te doen (kan als demonstratie of als practicum). Je kunt ook een modelleeroefening met leerlingen gebruiken om dieper na te denken over deeltjesmodellen.

Natuurwet of formule illustreren

Bij het onderbouwen van een natuurwet of formule denken we al gauw aan een kwantitatieve aanpak. Dat is het geval in, bijvoorbeeld, B22 *Trillende veer*. Maar formules en wetten kun je ook op een kwalitatieve manier laten zien, zoals de richting van de Lorentzkracht in B31 *Draaimolen van drijvende kaarsen*, Newton's derde wet in B10 *Touwtrekken*, en de terugkaatsingswetten in B43 *Spiegelen*.

Leerlingdenkbeeld toetsen

Soms beschrijven leerlingen hun ervaringen in termen die we, natuurkundig gezien,

niet goed genoeg vinden. Of ze vormen zich denkbeelden die niet sporen met hoe de werkelijkheid in elkaar zit. Demonstraties zijn bij uitstek geschikt om dergelijke 'misconcepten' op het spoor te komen en te bespreken. Als startpunt voor die bespreking kun je situaties creëren waarin de beschrijving van leerlingen tekortschiet, of gebeurtenissen die de intuïtieve verwachtingen tegenspreken. Voorbeelden van dit type demonstratie zijn: 807 Lekkende flesjes, 801 Twee leegstromende flessen, 820 Touwtrekken, en 851 Een lens blijft verrassen.

Zoals in *Showdefysica (2015)* wordt besproken is de *Predict-Explain-Observe-Explain* (PEOE) aanpak in veel demonstraties een mooie manier om begripsontwikkeling aan te pakken. Cruciaal is de interactie met de klas. De klas wordt uitgedaagd om de voor hen onverwachte verschijnselen (zelf en samen) te voorspellen, interpreteren en verklaren. We komen op deze aanpak hieronder nog terug, omdat hij ook uitstekend bruikbaar is bij het ontwikkelen van natuurwetenschappelijke vaardigheden. Zie *Showdefysica (2015)* als je meer wilt weten over de toepassing van PEOE bij begripsontwikkeling.

Deel C - Bijzondere gelegenheden

Alle demonstraties in dit boek zijn bedoeld om te verrassen en te vermaken, en daarbij aan te zetten tot denken. Die leerdoelen zijn dan ook niet speciaal voor de demonstraties in deel C, ze kunnen in alle demonstraties worden nagestreefd. Ze horen bij 'leren over natuurkunde'. De demonstraties in deel C zijn echter speciaal geschikt om bij bijzondere gelegenheden te worden uitgevoerd, tijdens open dagen, jubilea en andere feestelijkheden. Het onderwerp behoort vaak niet tot het natuurkundeprogramma van het voortgezet onderwijs en in sommige gevallen past de rol van goochelaar misschien even goed als die van docent.

Gebruik je deze demonstraties in de klas, dan bieden ze meer. Ze stimuleren dan dat leerlingen een 'feel for the phenomena' (Woolnough & Alsop, 1985) ontwikkelen. En ze kunnen worden benut om leerlingen inzicht te geven in wetenschappelijk denken en werken, inzicht in 'nature of science'.

Verbazing en verwondering

Wetenschap begint bij willen weten, en willen weten begint bij verbazing en verwondering. Wil je leerlingen leren om, bijvoorbeeld, een goede onderzoeksvraag te stellen, dan is het wekken van verbazing en verwondering in een slim gekozen demonstratie dus een bruikbaar begin. Je leerling zal het daarna nog steeds moeilijk vinden om te zeggen *wat* hij of zij precies wil onderzoeken, maar de winst is *dat* die leerling dan iets wil onderzoeken. Dan moet je 'het' natuurlijk niet meteen uitleggen - voor sommigen van ons geen eenvoudige opgave. Bij demonstraties B21 *Klerenhanger*, C02 *Ballon kebab* en A10 *Vuurornado* is het oproepen van 'willen weten' zeker haalbaar.

Fascineren en enthousiasmeren

Bij een 'demonstratie' in de natuurkundeklas denken we al gauw aan een docent die heel handig allerlei verbazingwekkende, spectaculaire gebeurtenissen oproept en zijn expertise toont door alles moeiteloos, diepzinnig en met humor uit te leggen. De klas kijkt ademloos toe, kan het eigenlijk maar nauwelijks volgen, en vergeet de ervaring nooit meer. Van de demonstraties in dit boek lenen met name die in deel C zich voor deze aanpak, waarin de docent centraal staat en de interactie met de klas vooral op retorische vragen is gebaseerd. Hij werkt prima om waardering en interesse voor natuurkunde op

te roepen, is een genot om te geven en te beleven. En als niet iedere toeschouwer ieder detail van de uitleg helemaal heeft meegekregen of die al gauw weer vergeten is - niet erg, het ging vooral om de 'smaak naar meer', en dat mag ook best een keer. C10 *Curve bal*, C07 *Welke kant uit?*, B26 *Zelfsorterend kaartspel*, en A15 *Wil Van de Graaff geen douche?* zijn demonstraties waarbij dit tot de mogelijkheden behoort.

Fee/ for the phenomena

Tot 'kritisch denken' hoort volgens veel docenten, dat hun leerlingen leren een berekende of bepaalde waarde te controleren: is die realistisch? Is die in orde van grootte zoals te verwachten was? Maar dat timmermansoog ontstaat niet vanzelf, dat vergt een *fee/ for the phenomena* (Woolnough & Alsop, 1985) die voortkomt uit geschikte ervaringen. Demonstraties zijn een efficiënte manier om die ervaringen gestructureerd aan te bieden. Mooie voorbeelden zijn C08 *Blauwe lucht, rode zon* en COS *Traagheid absorbeert*.

Inzicht in wetenschap en wetenschappelijk denken

Wat bezielt wetenschappers, wat proberen ze te bereiken, en hoe pakken ze dat aan? Wat is de waarde van het product, van de verworven kennis? Dit zijn belangrijke vragen waar leerlingen het best over kunnen leren door zelf wetenschap te 'doen', daarover na te denken, en daarbij hun eigen antwoorden te vinden. Ook, of misschien wel juist, leerlingen die geen natuurkundige (willen) worden.

Ons beeld van wat wetenschappelijke kennis is, is wel flink veranderd in de afgelopen halve eeuw. Natuurlijk zien we wetenschappelijke kennis nog altijd als uitermate betrouwbaar, onmisbaar in vrijwel alles wat we doen, en als het meest objectieve type kennis waarover we beschikken. Die kennis is de opbrengst van systematisch, rigoureuus onderzoek volgens strenge procedures waarin iedere uitspraak strikt getoetst wordt aan harde feiten. Maar een modern beeld van wetenschappelijke kennis omvat ook het besef dat die kennis in principe altijd open staat voor kritiek. Hij is dus verbeterbaar en vervangbaar en bevat geen absolute of eeuwige waarheden. Feiten zijn niet zo hard als we ooit dachten, want ze zijn onvermijdelijk gekleurd door hoe wij (kunnen) waarnemen en door wat we al weten, en blijven dus principieel subjectief. De menselijke kant van de wetenschap houdt in dat de persoonlijke inbreng, creativiteit en verbeelding van wetenschappers allesbepalend zijn voor vooruitgang. Dus hoewel de wetenschap geldig is voor iedereen, toch is hij afhankelijk van onze sociale en culturele context.

Dat maakt de aard van wetenschappelijke kennis heel complex, vol van schijnbare tegenstellingen. Is dat niet veel te moeilijk en ingewikkeld voor de gemiddelde leerling? Ja, wel als je het presenteert zoals in de voorgaande alinea. Maar demonstraties bieden uitstekende mogelijkheden om ook leerlingen iets van dit beeld te laten (in) zien, bijvoorbeeld op basis van een 'black box' benadering (Abd-el-Khalick, Bell & Lederman, 1998). Als voorbeeld is een mogelijke aanpak uitgewerkt van A12 *Het blik dat terugkomt*. Leerlingen maken daarin op hun niveau kennis met onder andere het belang van creativiteit en fantasie, met de rol van kritische analyse en *peer review* en met het voorlopige karakter van kennis in de wetenschap. Ook voor 'black box' demonstraties van deel A en deel B, zoals A13 *De gloeiende augurk* en A01 *Magische kogels*, is zo'n aanpak goed bruikbaar. Met het gegeven voorbeeld pas je die demonstraties eenvoudig zelf aan voor dit doel.