
Natuurwetenschappelijke vaardigheden ontwikkelen met demonstraties

Natuurwetenschappelijk onderzoek doen is een kwestie van gericht en zorgvuldig waarnemingen verrichten, je kennis benutten om die te begrijpen, én het omgekeerde, je kennis bijstellen en bepalen met welke volgende waarnemingen je die kunt toetsen en onderbouwen. Demonstraties bieden je als docent bij uitstek de gelegenheid je leerlingen daarin te oefenen. Wat kan ik concluderen uit de waarnemingen? Hoe zeker ben ik daarbij van mijn zaak, kan de conclusie worden versterkt? Als ik iets verander, wat zal er dan gebeuren? En als dat al of niet gebeurt, wat leer ik daar dan van? Dit heen-en-weer denken tussen praktijk en theorie kenmerkt het onderzoek (Van den Berg, 2012). *In demonstraties kun je dat denken stimuleren, sturen, en helpen verbeteren op een prettige, motiverende en veilige manier.* Zoals altijd is het de kunst daarbij het evenwicht te bewaren tussen enerzijds uitdagen, zelf laten doen en zelf laten denken, en anderzijds ondersteunen, aanmoedigen en sturen. Laat wat leerlingen al moeten kennen en kunnen aan hen over. Doe zelf wat nog te moeilijk voor ze is. Kies daar tussenin de leerdoelen bij je demonstratie. Dat mogen er niet teveel zijn, en ze moeten met enige inspanning door de leerlingen kunnen worden behaald. Dat lukt alleen als je je leerlingen een route biedt daarheen gebaseerd op gerichte vragen en opdrachten, maar een route waarin ze ook zelf hun inbreng en bijdragen kwijt kunnen.

Natuurkunde leer je door het te doen. Maar kan dat eigenlijk wel in een demonstratie? Daarin worden immers wetenschappelijke problemen niet echt opgelost. Je leerlingen mogen aannemen dat ze met een beetje moeite de verrassende verschijnselen uiteindelijk kunnen begrijpen - een garantie die je in normaal fysisch onderzoek niet krijgt. Jij weet van tevoren al 'wat er uit moet komen', je hoeft als docent alleen maar de waarnemingen te reproduceren (nou ja, alleen maar), en je kunt volstaan met het geven van de bijbehorende uitleg. Zo kan het, maar daar hoeft het niet bij te blijven. Je demonstratie kan ook bijdragen aan de ontwikkeling van natuurwetenschappelijke vaardigheden en dat is tamelijk eenvoudig in te passen.

Daartoe verklein je als docent de onderzoeksproblemen en confronteert er de leerlingen mee. Speel het oplossen van die problemen als het ware na tijdens je demonstratie, want daarvan valt veel te leren. Dat gaat het eenvoudigst door vragen te stellen aan je leerlingen zoals die in het kader.

Wat verwacht je dat er gaat gebeuren?
Wat weet je al van deze opstelling/ situatie?
Wat heb je nu precies gezien? Wat viel je daarbij op?
Hoe kunnen we onze waarnemingen zo helder en duidelijk mogelijk beschrijven?
Gebeurde er wat je verwacht had?
Als we het nog eens doen, waar moeten we dan vooral op letten?
Hoe kunnen we de waarnemingen verbeteren?
Kun je uitleggen waarom er gebeurde wat er gebeurde?
Heb je iets nieuws geleerd? Past dat bij dingen die je al wist?
Wat weten we nu nog niet, en kunnen we onderzoeken?
Hoe gaan we dat aanpakken?

Door samen de antwoorden te vinden, op waarde te schatten, waar mogelijk te testen, oefenen leerlingen met de vaardigheden die ze nodig hebben als ze zelf 'natuurkunde leren' en 'natuurkunde doen'. De demonstraties in deel A van dit boek zijn daarop expliciet gericht, maar ook in alle overige demonstraties kun je op deze manier aan die vaardigheden werken. Uiteraard pas je die aan je eigen wensen aan, en vul je ze aan met je eigen ideeën. Verder stel je natuurlijk niet al die vragen in één demo, dat wordt veel te zwaar. Een helder, afgebakend doel krijgt wat extra aandacht op basis van enkele passende vragen. Voorbeelden volgen hieronder.

Je kunt drie moeilijkheidsgraden onderscheiden, afhankelijk van wat je didactisch wilt bereiken. In de eenvoudigste demonstratie laat je een verrassend verschijnsel zien en oefenen je leerlingen met het wetenschappelijk 'waarnemen' en 'interpreteren'. Iets lastiger wordt het als je het verband tussen de waarnemingen en de interpretatie niet alleen legt maar ook *onderbouwt* door het *beschrijven, verklaren en voorspel/en* van de waarnemingen. In het derde type demo komen vaardigheden aan bod die bij de *grenzen* van de gevonden kennis horen. Welke aannames zijn er gemaakt? In welke situatie is de conclusie *niet* meer geldig? Als je leerlingen op basis van zulke vragen de grenzen aan de gevonden kennis hebben vastgesteld kun je ze vragen of die nog geldt *voorbij* die grenzen. Kan de conclusie worden gegeneraliseerd? Roept de conclusie nieuwe vragen op, en hoe kunnen die dan worden beantwoord? In de stap die dan volgt heb je alle vaardigheden tegelijk nodig en kun je als docent vaak geen antwoord meer paraat hebben. In dit mooiste maar lastigste type wordt het immers écht natuurkundig onderzoek.

We werken de drie moeilijkheidsgraden hieronder iets verder uit. De nummers bij de tussenkopjes verwijzen naar de nummering in de tabel, *Natuurwetenschappelijke vaardigheden*.

Waarnemen en interpreteren

Zien en waarnemen (2.1)

Typische docentvragen die bij waarnemingsvaardigheden horen zijn:

Wat heb je nu precies gezien/ gemeten?
Wat is er veranderd, en hoe? Wat is hetzelfde gebleven?
Heeft iedereen dat zo gezien? Heb je nog meer gezien?

Wat op je netvlies komt hoeft je nog niet waar te nemen. Daar zijn veel voorbeelden van bekend (zie op YouTube bijvoorbeeld 'The Monkey Business Illusion'). Een van de eerste stappen in zelfstandig onderzoek leren doen is dat leerlingen beginnen met waarnemen als wetenschappers. Demonstraties zijn heel geschikt om daarmee te oefenen. Laat leerlingen hun waarnemingen beschrijven, opschrijven en onderling vergelijken. Laat ze bespreken wat wel en niet relevant is, als je wilt verklaren wat er gebeurde. De demonstraties A04 *Rijke kookverschijnselen* en A03 *Waterkoker met ICT* zijn bedoeld om goed te oefenen met het zorgvuldig kwalitatief respectievelijk kwantitatief (leren) waarnemen, en met het vergelijken en beschrijven van die waarnemingen. In A01 *Magische Kogels* wordt een nonsensverhaal schijnbaar bevestigd door de waarnemingen, die daarom kritisch moeten worden bekeken. Ook A15 *Wil Van de Graaft geen douche?* is van zorgvuldig waarnemen afhankelijk.

Interpretatie en betekenis (2.3, 3.2)

Bij 'interpreteren' passen, afhankelijk van de demo, docentvragen zoals bijvoorbeeld :

Heb je iets verrassends gezien? Zo ja, wat? Waarom vond je dat verrassend?
Wat voor lijn kun je nu trekken door de metingen in deze grafiek? Waarom?
Welke (meetbare) grootheden zijn er veranderd? Hoe weet je dat?
Wat zou er moeten gebeuren om een steilere of minder steile grafiek te krijgen?

Voor je de waarnemingen kunt beschrijven en de oorzaken opsporen moet je de betekenis en het belang (h)erkennen van wat je ziet . In A14 *Sub-atomaire deeltjes* zien staat dat interpreteren centraal en is de beschrijving en verklaring van de waarnemingen minder belangrijk . Ook in 829 *Tart de magneet de zwaartekracht?* staat de betekenis van de gegevens ter discussie. Meestal zijn waarnemen en interpreteren belangrijke onderdelen van de demonstratie, maar wil je daarin nog meer bereiken, zoals in A11 *Lijnen lopen*, 833 *Lorentzkracht meten*, 846 *Einstein, jong en oud*, 824 *Zwevende pareltjes*, 849 *Gloeilamp als zon*, en 837 *Magneettrein in rails*.

Tabel 1. Onderzoeksvaardigheden bij demonstraties (naar Van den Berg, Dekkers, Trinh & Ellermeijer, 2016)

1.0 VOORBEREIDING

De leerling :

- 1.1 (Her)formuleert te onderzoeken probleem of onderzoeksvraag .
- 1.2 Activeert voorkennis (ideeën over antwoord op onderzoeksvraag) .
- 1.3 Ontwerpt (aanvullend) experiment (kiezen van variabelen, ontwerp).
- 1.4 Ontwerpt (aanvullende) meet- en/of observatieprocedures voor variabelen (operationele definities).
- 1.5 Voorspelt resultaten.

2.0 UITVOERING VAN HET EXPERIMENT

De leerling :

- 2.1 Observeert, meet.
- 2.2 Manipuleert.
- 2.3 Interpreteert waarnemingen /beschrijft resultaten.
- 2.4 Berekent.
- 2.5 Legt uit of beslist over (aanvullende) experimentele technieken.
- 2.6 Werkt volgens eigen opzet .

3.0 ANALYSE EN INTERPRETATIE

De leerling:

- 3.1 Transformeert resultaten in standaardvorm (t abellen) .
- 3.2 Trekt conclusies, stelt relaties vast (mogelijk d.m.v. grafieken).
- 3.3 Beschrijft/besprekt nauwkeurigheid gegevens.
- 3.4 Beschrijft/besprekt aannames .
- 3.5 Formuleert generalisaties.
- 3.6 Verklaart relaties.
- 3.7 Past resultaten toe in onderzoek naar nieuwe vragen/problemen.

Voorspellen, beschrijven en verklaren

Voorspellen - Eerst denken dan pas doen (1.2, 1.5)

Voorspellingen kun je van leerlingen vragen met bijvoorbeeld:

Wat denk je dat er gaat gebeuren? Waarom denk je dat?
Stel dat er zo meteen toch iets anders gebeurt dan je denkt. Wat zou je reactie zijn?

Onderwijs moet aansluiten op de voorkennis van de leerlingen. Een demonstratie die de leerlingen 'al kennen' is zinloos, net als één die ze nog niet kunnen bevatten. Je demonstratie bevindt zich idealiter in het gebied dat je leerlingen nog net niet beheersen maar waar zij wel aan toe zijn. Daarom is *voorspellen* van wat er gaat gebeuren soms zinnig in een demonstratie. Je leerlingen kunnen hun voorkennis daarbij activeren, en jij leidt daaruit af op welk niveau je de demonstratie moet presenteren.

Laten voorspellen doe je echter alleen als je leerlingen ook de tweede vraag kunnen beantwoorden: 'waarom denk je dat?' Wie hierop geen antwoord weet is aan het gokken en dat is zinloos. Maar vooral als leerlingen het gevoel hebben dat ze zouden moeten weten wat er gaat gebeuren en daar toch niet helemaal zeker van zijn, wordt het voorspellen interessant. Idealiter staat er ook iets op het spel of valt er iets te 'winnen'. Laat je bijvoorbeeld de voorspellingen in kleine teams maken en opschrijven, dan versterk je het gevoel van eigenaarschap over het antwoord. Dat maakt het belang van het vervolg groter, en daarmee de kans dat dit vervolg in het geheugen terecht komt, vooral als er iets anders gebeurt dan werd verwacht.

Dit vergt zorgvuldige afstemming op de situatie, dat lukt niet altijd, en docenten slaan dit 'voorspellen' en 'relevante kennis activeren' daarom nog wel eens over, denkend dat de leerlingen daar toch niet aan mee willen doen. Maar stel, je sluit met veel theater een grote schakelaar, zware accukabels, een stevige alarmbel, en een metalen kooi in serie aan op het lichtnet. In de kooi zit een lief konijntje op een worteltje te knabbelen. Je wijst naar de schakelaar en vraagt: 'Wat zou er nou gebeuren als ik deze knop omzet?' Dit wat gewelddadige voorbeeld (al is het konijntje relatief veilig in zijn kooi van Faraday) wil illustreren dat leerlingen best hun voorkennis en ervaringen willen delen in voorspellingen, als ze in staat zijn de voorspelling te doen en als die voorspelling belang heeft, bijvoorbeeld door een emotionele lading. Welk publiek je voor je hebt kunnen we niet precies voorspellen, maar we denken dat dit in demonstraties zoals A08 Krommunicerende vaten, 828 *Wie durft?*, A13 *De gloeiende augurk* en 801 *Twee leegstromende flessen* meestal het geval zal zijn.

Wat je ook demonstreert, om er iets van te leren moeten je leerlingen de conclusies met al bestaande kennis en ervaring verbinden. Zijn die er niet, dan kunnen ze geen betekenis geven aan wat je doet. Bijvoorbeeld, jonge leerlingen zien soms pas in dát er iets te verklaren valt, in de demo A06 *Ballon opblazen in een glazen fles*, als ze doorkrijgen dat de ballon *wel* opgeblazen is, maar *niet* dichtgeknoopt. Hoe beter leerlingen hun voorkennis benutten des te groter is de kans dat ze niet alleen plezier beleven maar ook nog iets leren van je demonstratie.

Beschrijven - meten en representeren (2.3)

Vragen die leerlingen laten nadenken over het meten en weergeven van gegevens zijn :

Welke meetbare grootheden spelen hier een rol, en hoe zou je die meten?
Als we een tabel maken van de metingen, wat moet er dan boven de kolommen staan?
Wat moet er in een schets waar in je alles ziet is wat belangrijk is? Maak die schets.

Vaardigheden in het verzamelen, weergeven en interpreteren van waarnemingen en meetgegevens kun je prima oefenen en inslijpen door middel van leerlingpractica. Die zijn daar heel geschikt voor. Demonstraties bieden die mogelijkheden echter even goed, zie A11 *Lijnen lopen* voor een voorbeeld.

De meeste demonstraties in dit boek zijn kwalitatief. Zelden hoeft er nauwkeurig te worden gemeten of zijn er complexe berekeningen nodig. Een uitzondering zijn de demonstraties waarin met de computer geproduceerde grafieken benut worden, zoals 827 *Tart de magneet de zwaartekracht?* en 822 *Trill ende veer*. In sommige kwalitatieve demonstraties zoals 820 *Fiets voor- of achteruit* is een zorgvuldige situatieschets heel bruikbaar bij het oplossen van het raadsel.

In veel van de demonstraties in dit boek valt het produceren van een goede beschrijving van het verschijnsel samen met het vinden van een passende verklaring. Dat wordt hierna besproken. In andere gevallen valt het beschrijven samen met de ontwikkeling van een nieuw begrip of verband. Dan is de demonstratie in deel B ondergebracht.

Verklaren - begrijp je wat je ziet, past wat je ziet bij wat je denkt? (3.6)

Leerlingen vragen naar eigen verklaringen voor wat ze gezien hebben kan bijvoorbeeld als volgt:

Begrijp je wat hier gebeurde? Leg eens uit.
Was wat er gebeurde een verrassing voor je? Kun je uitleggen waarom (niet)?
Heb je iets geleerd van wat je zag? Zo ja, wat dan? Zo nee, leg dan eens uit wat je zag.

De aantrekkingskracht van demonstraties zit waarschijnlijk voor een groot deel in de voorspelbare en aangename afwisseling van emoties voor de leerling. Dat begint met verrassing en verwondering over het vertoonde, en misschien ook bewondering voor de demonstrateur. Daarna volgt idealiter een gevoel van lichte onzekerheid en verwarring, waarin je leerling echt moeite moet doen om het vertoonde raadsel op te lossen. Dat moet dan eigenlijk net niet helemaal lukken, er mag wat onzekerheid blijven tot het verlossende woord van de docent. Daaruit ontstaat begrip en inzicht bij je leerling, en tevredenheid over het eigen vermogen de wereld (weer) te zien als begrijpelijk en beheersbaar. Zo gezien is het *verklaren* van de waarnemingen het hoogtepunt van de karakteristieke demonstratie.

Conceptcartoon

Naarmate het beter lukt om de leerling zelf actief te laten zoeken naar een verklaring kan dat hoogtepunt sterker en leerzamer worden. Een mooie aanpak daarvoor is het gebruik van een **Conceptcartoon**. Dat is een poster of dia waarop enkele hypothetische leerlingen ieder hun 'eigen' mogelijke verklaring geven. Zie het voorbeeld in figuur 1, die hoort bij de demonstratie op de omslag van het boek, A10 *Vuurtornado*. De vraag is: "Welke factor is het belangrijkste bij het ontstaan van een vuurtornado?"



Figuur 1. Conceptcartoon bij A10 *Vuurtornado*. Welke factor is het belangrijkste bij het ontstaan van een vuurtornado?

De conceptcartoon verlaagt de drempel voor leerlingen om een verklaring te ondersteunen of hun eigen verklaring te geven. Het maakt het gemakkelijker om hun eigen visie te uiten. Het is uiteraard belangrijk dat de uitspraken aansluiten bij wat veel leerlingen denken, en toch ruimte laten voor andere visies. Conceptcartoons willen de leerlingen ertoe verleiden hun mening niet alleen te geven maar die ook te verdedigen. Ze kunnen bijvoorbeeld worden ingezet bij het vragen naar

- verwachtingen over wat er gaat gebeuren (zoals in B03 *Door ijs heen bewegen*);
- de keuze van een meetapparaat of -procedure (zoals in B44 *Koudestraling??*);
- de interpretatie van een grafiek (A11 *Lijnen Jopen*);
- de visie op de geldigheid of betrouwbaarheid van observaties (B47 *Vreemde schaduwen*);
- de betekenis van waarnemingen;
- de mogelijke toepassingen van een gevonden verband;
- de geldigheid van generalisaties.

(NB. Bij de aangegeven demonstraties vind je een voorbeeld van een conceptcartoon voor de beschreven vaardigheid.) Conceptcartoons zijn ook goed bruikbaar in de demonstraties van deel B bij het opsporen en bespreken van leerlingdenkbeelden .

Combineren van vaardigheden - PEOE

De aanpak voor het oefenen met voorspellen, beschrijven en verklaren van verschijnselen wordt nog sterker als deze vaardigheden niet één voor één, maar samen worden ingezet. Een mooie manier om dat te doen is de **PEOE** (Predict - Explain, Observe - Explain) aanpak (naar White & Gunstone, 1992). Achtereenvolgens worden de leerlingen uitgenodigd te *voorspel/en* wat er zal gebeuren, *uit te leggen* waarom ze dat denken, te *observeren*, waaronder het beschrijven en interpreteren van wat ze zien, en te *verklaren* hoe dat in zijn werk ging. Afhankelijk van het onderwerp kun je een of meer van die stappen ondersteunen met een *conceptcartoon*. In de meeste demonstraties in dit boek is de PEOE-structuur herkenbaar of toepasbaar, al wordt het 'voorspellen' overgeslagen als de leerling geen relevante voorkennis heeft. Zie voor illustratieve voorbeelden onder andere A09 *Lucht of niet?*, B31 *Draaimolen van drijvende kaarsen*, B18 *Gekleurde schaduw*, B03 *Door ijs heen bewegen*, en B30 *Vallende ballen en blikjes*.

De grenzen van de kennis en daar voorbij

De grenzen van de kennis vinden (3.3, 3.4, 3.5)

Leerlingen vinden het vaak moeilijk om na te denken over de geldigheid en betrouwbaarheid van hun onderzoek. Daar komen dan ook diverse hogere-orde cognitieve vaardigheden van Bloom et al. (1956) bij kijken zoals het evalueren, generaliseren, en kritisch analyseren van de resultaten en conclusies. Omdat het gemakkelijker is om het werk van anderen te bekritisieren dan je eigen werk, bieden demonstraties hier opnieuw mogelijkheden, bijvoorbeeld op basis van vragen van de docent zoals:

Moeten we de waarnemingen of metingen herhalen? Waarom (niet)? Hoe vaak? Is er een andere of betere manier om de proef te doen? Zo ja welke? Zo nee, waarom niet? Welke aannames hebben we gemaakt? Hoe verandert het resultaat als die niet gelden? Heb je iets geleerd van wat je zag? Zo ja, wat dan? Zo nee, leg dan eens uit wat je zag.

Demonstraties waarin deze vaardigheden kunnen worden geoefend zijn bijvoorbeeld B33 *Lorentzkracht meten*, B18 *Zelfrijdende auto* (aannames), B29 *Gesteentemechanica met rookworst*, B49 *Gloeilamp als Zon* (generalisaties), en B22 *Trillende veer* (meetmethode en nauwkeurigheid).

Toepassen en generaliseren (3.5, 3.7)

Sommige demonstraties simuleren of modelleren een moeilijk onderzoekbare situatie (Levende Natuurkunde, A07 *Bernoulli begrepen*, B23 *AM-lichtsignaal*, B29 *Gesteentemechanica met rookworst*, en C08 *Blauwe lucht, rode zon*). Dan is het natuurlijk essentieel om te bepalen in hoeverre kennis over het model toepasbaar is in het origineel. Wil je leerlingen daar ook zelf over na laten denken dan kan dat met vragen zoals:

Welke eigenschappen van het model heeft het origineel ook? Hoe weet je dat?
Welke eigenschappen van het model gelden niet voor het origineel? Waarom niet?
Welke eigenschappen van het origineel ontbreken in het model? Leg uit .

Andere demonstraties gaan in op de generalisatie van de conclusie naar andere contexten. Die kun je zelf geven en uitleggen, maar soms kun je dat natuurlijk ook je leerlingen vragen:

Welke situaties ken je waarin onze conclusie wordt toegepast? Met welk doel? Zijn er situaties die je beter begrijpt met onze conclusie? Welke, en hoe? Denk je dat de conclusie ook geldt als we ... veranderen? Waarom denk je dat?

Generaliseren op basis van zulke vragen is met name interessant, naast de zojuist genoemde demonstraties, in B41 *Resonantie in een buis*, B19 *Corioliskracht*, B24 *Zwevende pareltjes*, BSO *Gevangen laserstraal*, en A10 *Vuurtornado*.

Verder onderzoek (alle vaardigheden)

In alle demonstraties waar de bevindingen nieuwe onderzoeksvragen oproepen, en dat zijn er veel, zijn de mogelijkheden tot verder onderzoek kort in de beschrijving aangegeven, soms alleen inhoudelijk, soms ook met een toelichting van de aanpak.

Op het moment dat de leerlingen worden uitgenodigd zelf een (vervolg)onderzoek te bedenken komen in principe alle vaardigheden uit tabel 1 aan de orde, en begint het echte onderzoeken. Tabel 1 is één voorbeeld van een opsomming van wat je zoal moet doen als je onderzoek doet. Naar de genummerde onderzoeksvaardigheden is in de voorgaande pagina's met regelmaat verwezen.

De structuur van de tabel is die van een geïdealiseerd onderzoek. Immers, in een ideale wereld zou je kunnen beginnen met het opstellen van een goede, relevante onderzoeksvraag, na te gaan wat daar al over bekend is, een aanpak te bedenken en uit te voeren om het antwoord te vinden, de resultaten te rapporteren en interpreteren, je voorzichtige conclusies te trekken en aan te geven wat daarvan de consequenties zijn. Echt onderzoek verloopt nooit zo. Het is echter meestal wel efficiënt om het te rapporteren alsóf het zo is gegaan. Dat leidt tot een bondig, begrijpelijk verhaal waar niet meer of minder in staat dan nodig is om het door de onderzoeker verkregen inzicht te delen.

Onderzoeksvaardigheden kun je op bijpassende wijze ordenen: zie tabel 1. Dat is prima zolang je door hebt dat ze niet in deze volgorde *hoeven* te worden toegepast of uit gevoerd. Je zet ze in wanneer je ze nodig hebt, zo vaak als nodig is en in de volgorde die het beste uitkomt om een *zo overtuigend mogelijk* antwoord op de onderzoeksvraag te kunnen geven.

Een perfecte lijst van onderzoeksvaardigheden kennen wij niet, de handigste lijst is er waarschijnlijk één die past bij de exameneisen. Hoe bruikbaar ze ook zijn, dit soort lijsten vertelt je niet waar je leerlingen moeten beginnen, of welke vaardigheden gemakkelijk zijn en welke moeilijk. Om een opbouw te vinden kun je, behalve *wat* je moet doen, kijken naar *waarom* je dat moet doen. Wat is er nodig om jezelf en anderen ervan te overtuigen dat jouw antwoord het best mogelijke is bij de gestelde onderzoeksvraag?