

Heen-en-Weer-Denken



Wouter Spaan
Lectoraat Didactiek van de Bètawetenschappen

 Hogeschool van Amsterdam

Deze heen-en-weer-denkwaaier is bedoeld als hulp bij het (her)ontwerpen van een practicum, dusdanig dat er aandacht is voor heen-en-weer-denken bij dat practicum.

Heen-en-weer-denken is een denkactiviteit waarbij een leerling in één redenering verwijst naar zowel een aspect uit het domein van objecten en waarnemingen als naar een idee of concept. Het is een uitdaging de uitkomst van zo'n activiteit zichtbaar te maken.

Tip 1: Bedenk vooraf hoe je consistent aandacht aan heen-en-weer-denken besteedt in *alle fases* van het practicum: voorbespreking, begeleiding bij de uitvoering en nabespreking.

Tip 2: Beperk *ruis* van andere activiteiten dan de gekozen heen-en-weer-denk-activiteit(en) zoveel mogelijk. Vooral een beoordeling met een cijfer en hands-on-aspecten kunnen ruis geven.

Tip 3: (Eigenlijk een vraag om over na te denken) Hoe noodzakelijk is een traditionele *handleiding*? Kun je die vervangen door een duidelijke mondelinge opdracht (op film)? Wanneer de leerlingen geen hands-on-recept krijgen, kunnen ze moeilijker alleen hands-on blijven.

Verklaren

De leerlingen formuleren zelf een verklaring.

Het zelf geven van een verklaring kan wanneer de leerlingen voldoende conceptuele kennis hebben.

Misconcepten liggen hier op de loer, dus nabespreken is belangrijk.

Het verschil tussen een verklaring en conclusie is subtiel: een verklaring geeft een reden voor het optreden van een fenomeen, terwijl een conclusie een (algemeen) geldende regel is.

De leerlingen voeren een practicum uit met vallende kegels van papier. Alle kegels zijn gevouwen van één A4. Ze vergelijken daarbij de valtijden van verschillende configuraties, bijvoorbeeld verschillende aantallen kegels in elkaar en verschillende diameters van de kegels. Ze vinden (onder andere) dat een kegel met grotere diameter een grotere valtijd heeft.

De leerlingen verklaren deze data vervolgens door de grotere luchtweerstand op de kegel met een grotere diameter.

De leerlingen beschrijven de waarnemingen met behulp van vaktaal.

In deze activiteit is het koppelen van de vaktaal aan de observatie(s) het aspect van heen-en-weer-denken.

Praktisch werk kan goed de context bieden waarbinnen nieuwe vaktaal wordt ontwikkeld, aangeleerd of verfijnd.

De leerlingen voeren vier verschillende experimenten met ontledingsreacties uit, een fotolyse, een elektrolyse en twee thermolyses. Als voorbereiding hebben ze thuis een filmpje gekeken over ontledingsreacties.

De opdracht voor de leerlingen is om te bepalen welke ontledingsreactie bij welk uitgevoerd experiment hoort en in eigen woorden te beschrijven waarom.

Het uitvoeren van vier reacties in plaats van drie voorkomt dat leerlingen een éénmaal gekozen reactie direct afstrepen als optie.

De leerlingen interpreteren onverwachte data.

Bij deze activiteit gaat het om onverwachte data die door de docent bewust zijn gepland. Voor de leerlingen zijn ze onverwacht.

Onverwachte data kunnen helpen om naïeve theorieën (misconcepten) te veranderen in natuurwetenschappelijke theorieën.

Dan is het wel belangrijk dat de nieuwe data:

- Zijn verzameld via een logische methode die de leerlingen begrijpen;
- Ondubbelzinnig zijn;
- Uit meerdere bronnen komen.

Voorafgaand aan een experiment om een temperatuur,tijd-diagram van water te maken waarschuwt de docent dat de thermometers niet boven 110°C mogen komen. Daarmee zorgt de docent dat het kookpunt onverwacht is, waardoor daar de nadruk op komt te liggen. Wanneer de leerlingen vragen om een nieuwe thermometer ('deze doet het niet'), dan geeft de docent die. Wanneer er veel thermometers 'kapot' blijken, moedigt zij de leerlingen aan op zoek te gaan naar een andere mogelijke verklaring. Daarbij besteedt ze ook aandacht aan de vraag wanneer data overtuigend zijn.

De leerlingen bediscussiëren hun eigen verklaring.

Bij deze activiteit bezien de leerlingen hun eigen verklaring kritisch. Je kunt daarbij vragen stellen als:

- Hoe zeker is je verklaring?
- Zijn er andere verklaringen mogelijk?
- Is de verklaring specifiek voor dit experiment?
- Hoe sterk is het bewijs dat je hebt voor deze verklaring?
- Wat zou je kunnen onderzoeken om de verklaring verder te testen? Deze vraag vereist dat de leerling weer terug gaat naar hands-on.

Leerlingen doen een onderzoek naar het instorten van Tacoma Narrows Bridge (zie youtube) met behulp van een staande transversale golf in een koord. Het concept eigentrilling is nog niet besproken. De docent heeft het experiment zo opgezet dat de leerlingen allemaal makkelijk de grote amplitude bij de grondtoon zullen vinden. Met wat scaffolds verklaren de leerlingen het instorten van de brug via het passen van de halve golflengte in de brug. De docent daagt de leerlingen uit na te denken of dit de enige passende golflengte is en of de verklaring bij de brug precies hetzelfde is als in het experiment.

De leerlingen beslissen of een gegeven verklaring/hypothese bij de data past.

Bij deze activiteit beschouwen de leerlingen eigenlijk de status van een hypothese op basis van de data. In dit geval is die hypothese gegeven door de docent. Vaak zal er voorafgaand aan de metingen ook een voorspelling zijn gedaan of hebben de leerlingen zelfs het experiment (deels) bedacht. Dan wordt het heen-en-weer-denken nog belangrijker.

De kunst is om een mogelijke verklaring te vinden die plausibel is, maar niet sowieso correct. Een hypothese die wel plausibel is, maar niet juist blijkt, geeft de beste discussies.

De leerlingen onderzoeken het zingen van een wijnglas, met als gegeven mogelijke verklaring dat de luchtkolom boven de vloeistof trilt. Ze onderzoeken de frequentie afhankelijk van:

- *de hoeveelheid vloeistof;*
- *de dichtheid van de vloeistof.*

Ze vinden een hogere frequentie bij meer vloeistof (zoals verwacht bij deze hypothese) en ze vinden een lagere frequentie bij hogere vloeistofdichtheid (niet zoals verwacht bij deze hypothese). De docent laat de leerlingen eerst onderling en daarna klassikaal discussiëren wat dit betekent voor de (volledigheid van de) gegeven verklaring.

De leerlingen beslissen welke gegeven verklaring/hypothese (uit twee of meer) het beste bij de data past.

Dit is een uitbreiding op de vorige activiteit. Nu geeft de docent meerdere verklaringen, waarvan één de juiste is. De opdracht voor de leerlingen is om te bepalen welke. Dit vraagt meestal een zorgvuldig experiment-ontwerp en zorgvuldig nadenken over de bijbehorende verwachtingen om te zorgen dat je ook echt onderscheid kunt maken. Waarschijnlijk zul je dit sterk moeten scaffolden of zelfs voor een groot deel gezamenlijk met de leerlingen moeten doen.

Concept cartoons zijn voorbeelden waarbij deze activiteit sterk naar voren komt.

Een ballon gevuld met CO₂ blijkt erg snel kleiner te worden, zelfs sneller dan een heliumballon. Er zijn twee mogelijke verklaringen:

- *De CO₂ diffundeert door het rubber;*
- *De CO₂ bindt aan het rubber.*

Bij diffusie verwacht je een toename van de CO₂-concentratie buiten de ballon wanneer je die in een afgesloten ruimte plaatst. Dat blijkt inderdaad het geval.

Leerlingen discussiëren wat dit betekent voor de twee mogelijke verklaringen. Daarna vraagt de docent hun om nog een experiment te verzinnen om het onderscheid te kunnen maken.

Concluderen

De leerlingen trekken zelf een conclusie passend bij de data.

Vaak is het doel van een experiment om één of andere conclusie te trekken, bijvoorbeeld over een relatie tussen twee variabelen of over de eigenschappen van een object of materiaal.

Het blijkt het beste te werken wanneer de leerlingen de conclusie niet vooraf kennen. Een zogenaamd verificatie-practicum werkt niet motiverend en is niet effectief. Dat vraagt om het zorgvuldig inpassen van het practicum in de lessenserie.

Voorbeeld 1: De leerlingen bepalen van zowel een aantal niet-metalen als een aantal metalen een paar eigenschappen, zoals buigzaamheid, elektrische geleidbaarheid, warmte geleidbaarheid en glimmen of niet. Dit is de eerste les over stoffeigenschappen. Er is nog niets inhoudelijks besproken.

Voorbeeld 2: De leerlingen zoeken in een geleide opdracht uit wanneer een hefboom in evenwicht is. Als ze overtuigd zijn van de gevonden regel, moeten ze een opdracht rond evenwicht bedenken voor een klasgenoot, die eerst moet voorspellen m.b.v. de eigen regel.

De leerlingen berekenen of bepalen een grootheid die niet direct gemeten kan worden.

Deze activiteit betreft het trekken van een bepaald soort conclusie met behulp van een berekening (of bepaling).

Bij deze activiteit is het des te belangrijker dat de leerlingen het heen-en-weer-denkwerk zelf verrichten. Dat vraagt vaak om slimme scaffolds, waarmee je voorkomt dat de berekening receptmatig gaat. Een manier om dat te regelen is met hint-kaartjes op verschillende niveaus, die de leerlingen kunnen pakken (of aan de docent kunnen vragen). Die kaartjes worden dan steeds specifieker.

Voorbeeld 1: Leerlingen bepalen de energie waarmee een muizenval dichtklapt, door de kracht nodig om hem open te houden te bepalen bij verschillende hoeken. De docent geeft als scaffold dat ze een F,s-diagram moeten maken.

Voorbeeld 2: de leerlingen bepalen welk percentage ijzer is omgezet in ijzeroxide, nadat ze staalwol hebben verbrand met een batterij. De docent maakt er een wedstrijdje van: wie heeft het hoogste percentage ijzeroxide? De leerlingen dienen te zorgen voor een overtuigende uitvoering en berekening.

De leerlingen geven een wiskundige beschrijving voor de data.

Bij deze activiteit maken de leerlingen vaak een grafiek waarmee ze het verband tussen twee variabelen bepalen. Daar kan al dan niet een coördinaattransformatie aan te pas komen.

Het heen-en-weer-denken wordt nog sterker wanneer één van de twee grootheden berekend moet worden uit een andere grootheid (bijvoorbeeld een grafiek van vermogen tegen spanning).

Voorbeeld 1: Voordat de Wet van Ohm wordt besproken maken de leerlingen de U,I -karakteristiek van een weerstand en een lampje. Ze bepalen het verband tussen U en I voor de weerstand.

Voorbeeld 2: Voordat de wet van massabehoud is besproken, bepalen leerlingen het verband tussen hoeveelheden van twee reactanten, één zuur en één base, bij een neutralisatiereactie.

Voorbeeld 3: Leerlingen bepalen het verband tussen gasdruk en -volume. Met een functiefit volgt ook nog de hoeveelheid gas in de spuit (gegeven de temperatuur en de gasconstante).

De leerlingen generaliseren een conclusie.

Het generaliseren van de conclusie doen we vaak impliciet. De gemeten situatie bevindt zich in een laboratorium, terwijl we iets willen weten over de wereld om ons heen of in ieder geval de conclusie willen toepassen op de wereld om ons heen. Het gaat dus om het toepassen van de conclusie in een andere context. Je kunt hier af en toe expliciet aandacht aan besteden.

De leerlingen onderzoeken of de benodigde arbeid om een blokje een helling op te trekken afhankelijk is van de hellingshoek (bij gelijkblijvend hoogteverschil) om daarmee de vraag te beantwoorden of het uitmaakt via welk pad je een heuvel op fietst.

De leerlingen bediscussiëren de geldigheid van de conclusie.

Bij deze activiteit gaat het om de geldigheid van de conclusie in de gemeten context (in tegenstelling tot de vorige activiteit).

Een uitbreiding hierop is het kwantificeren van de meetonzekerheid. Wanneer een experiment vaker wordt herhaald, dan kan dat soms relatief eenvoudig.

Het loont de moeite te zoeken naar een context waarbinnen het belangrijk is dat de onzekerheid van de conclusie bekend is (zie het voorbeeld hiernaast). Dat werkt motiverend en geeft betekenis aan het practicum.

De leerlingen krijgen kaarsvet en moeten bepalen of het zuiver stearinezuur is. De context daarbij is dat je een dure 100%-stearinekaars hebt gekocht die schoon en lang hoort te branden. De kaars walmt echter flink en je twijfelt daarom of het wel puur stearinezuur is. De leerlingen onderzoeken of je een smeltpunt of een smelttraject krijgt.

Na afloop stelt de docent de vraag hoe zeker de conclusie nu is. Is die zeker genoeg om je geld terug te gaan vragen? Zijn er dingen die je beter eerst nog kunt uitzoeken? Zijn er verschillen tussen de groepjes?

De leerlingen bepalen of een gegeven conclusie past bij de data.

Bij deze activiteit beschouwen de leerlingen eigenlijk de status van een hypothese op basis van de data. In dit geval is die hypothese gegeven door de docent. Soms zal er voorafgaand aan de metingen ook een voorspelling zijn gedaan of hebben de leerlingen zelfs het experiment (deels) bedacht. Dan wordt het heen-en-weer-denken nog belangrijker.

De kunst is om een mogelijke conclusie te vinden die plausibel is, maar niet sowieso correct. Een hypothese die wel plausibel is, maar niet juist blijkt, geeft de beste discussies.

De slinger is een dankbaar en eenvoudig systeem om hiermee aan de slag te gaan. Een paar mogelijke (onjuiste) hypothesen zijn:

- *De trillingstijd is recht evenredig met de lengte van de slinger;*
- *De trillingstijd is recht evenredig met de amplitude van de slinger;*
- *De trillingstijd is recht evenredig met de massa van de slinger.*

Meestal zullen leerlingen in staat zijn om een bijbehorend experiment te verzinnen en uit te voeren. Mooi aandachtspunt is het aantal metingen dat je nodig hebt om iets zinvol te kunnen zeggen over deze hypothesen.

De leerlingen bepalen welke gegeven conclusie (uit twee of meer) het beste bij de data past.

Dit is een uitbreiding op de vorige activiteit. Nu geeft de docent meerdere conclusies, waarvan één de juiste is. De opdracht voor de leerlingen is om te bepalen welke. Dit vraagt meestal een zorgvuldig experiment-ontwerp en zorgvuldig nadenken over de bijbehorende verwachtingen om te zorgen dat je ook echt onderscheid kunt maken. Waarschijnlijk zul je dit sterk moeten scaffolden of zelfs voor een groot deel gezamenlijk met de leerlingen moeten doen.

Concept cartoons zijn zeer geschikt om aandacht te schenken aan deze activiteit.

De leerlingen gaan zelf uitzoeken welke regels gelden in de serieschakeling en in de parallelschakeling. Die regels zijn niet vooraf besproken. Ze krijgen kaartjes met daarop regels zoals:

- *De stroomsterkte van de batterij is de som van de stroomsterktes door de weerstanden.*
- *De stroomsterkte door de weerstanden is hetzelfde.*
- *De spanning over de weerstanden is hetzelfde.*

De opdracht voor de leerlingen is om alle kaartjes bij de goede schakeling te leggen, serieschakeling of parallelschakeling.

De leerlingen bediscussiëren het effect van een verandering op de uitkomst of op de conclusie.

Bij een verandering kan het gaan om een ander materiaal, een ander object of een aanpassing in de methode. Dit laatste heeft dan overlap met het bediscussiëren van de methode (een blauw kaartje).

Een opdracht om het effect van een verandering te bediscussiëren doet sterk een beroep op heen-en-weer-denken, omdat je de concepten moet kunnen toepassen op de verandering en dan moet redeneren wat dat voor je conclusie betekent. Meestal wordt dit nog sterker indien je eerst een voorspelling laat doen en daarna pas laat uitvoeren.

Voorbeeld 1: Leerlingen hebben de inductiespanning als functie van de tijd gemeten als een magneet door een spoel valt. Ze schetsen daarna in die grafiek op minimaal vier momenten waar de magneet is ten opzichte van de spoel. Vervolgens voorspellen ze de vorm van de grafiek wanneer de magneet van een grotere hoogte wordt losgelaten. Daarna meten ze dit pas en vergelijken ze.

Voorbeeld 2: Krijg je bij een onderzoek naar de eigenschappen van metalen en niet-metalen andere eigenschappen wanneer je andere materialen gebruikt?

De leerlingen bediscussiëren de reikwijdte van de conclusie.

Deze activiteit heeft overlap met het bediscussiëren van de conclusie. Nu ligt de focus erop of de gevonden concepten algemeen geldend zijn. Om daar iets over te kunnen zeggen, heb je soms meer nodig dan alleen de uitgevoerde metingen, bijvoorbeeld een conceptuele verklaring voor de metingen. Dat levert dan weer extra heen-en-weerdenken op.

Voorbeeld 1: De leerlingen hebben de U,I-karakteristiek van een weerstand getekend. Elk tweetal had een andere weerstandswaarde. De docent vraagt aan de klas of de conclusie dat stroomsterkte en spanning recht evenredig zijn bij alle weerstanden, nu gerechtvaardigd is.

Voorbeeld 2: Leerlingen hebben vastgesteld dat één specifiek zuur en één specifieke base altijd in dezelfde massaverhoudingen reageren (tot een neutrale oplossing). De docent vraagt of je nu weet dat dit geldt voor alle scheikundige reacties. Wat heb je nog nodig om dat met 'ja' te kunnen beantwoorden?

Voorspellen

Voorspelling, verwachting en hypothese, drie woorden die veel met elkaar te maken hebben. Voorspelling en verwachting zijn synoniem. Ze bevinden zich beide in het domein van de objecten en waarnemingen. Een hypothese is een mogelijke theorie. Een hypothese hoort daarom in het domein van concepten en ideeën. Een voorbeeld hierover:

Hypothese:	Bij vloeistoffen zullen sterkere intermoleculaire krachten leiden tot een hogere soortelijke warmte.
Experiment:	Je verwarmt polaire en niet-polaire stoffen gedurende dezelfde tijd met hetzelfde vermogen en je meet de temperatuurstijging.
Voorspelling/verwachting:	De niet-polaire stoffen zullen een grotere temperatuurstijging krijgen dan de polaire stoffen.

Samengevat kun je de relatie tussen de hypothese, de methode en de voorspelling als volgt weergeven: als [hypothese] waar is en je voert [methode] uit, dan [voorspelling/verwachting].

De leerlingen geven een voorspelling voor de data.

Bij deze activiteit is het nodig dat de leerlingen de toepasselijke concepten kennen om hun voorspelling op te baseren, tenzij je het expliciet combineert met het interpreteren van onverwachte data (een rood kaartje).

Dit blijkt een effectief middel te zijn om het leerrendement van practica te verhogen analoog aan het P(E)OE, Predict (Explain) Observe Explain, bij demonstraties.

Een voorspelling in de vorm van een tekening (schets van wat er gebeurt of een grafiek) (b)lijkt nog effectiever te zijn om de discussie en het heen-en-weer-denken te faciliteren.

Voorbeeld 1: Leerlingen krijgen een lens en een voorwerpsafstand en moeten de karakteristieken van het beeld voorspellen (grootte en richting). Daarna voeren ze het uit. Ze kennen de lenzenwet.

Voorbeeld 2: Leerlingen kennen het concept van een PTC. Ze voorspellen de U,I-karakteristiek van een gloeilampje. Daarna meten ze die karakteristiek.

Voorbeeld 3: Leerlingen voorspellen hoeveel massa ijzer(III)oxide kan/zal vormen wanneer je 1,0 g staalwol oxideert. Daarna voeren ze het uit en vinden ze een lagere massa.

De leerlingen voorspellen een wiskundige relatie tussen twee (of meer) grootheden (minimaal één is direct meetbaar).

Deze specifieke vorm van voorspellen leent zich erg goed voor een voorspelling in de vorm van een grafiek. Het blijkt dat leerlingen dan hun uiteindelijke resultaten nauwgezetter gaan vergelijken met hun voorspelling dan wanneer ze de voorspelling in woorden hebben gedaan.

Voorbeeld 1: Leerlingen voorspellen het P,V-diagram voor een afgesloten hoeveelheid gas. Daarna voeren ze de meting uit. De gaswet is bekend.

Voorbeeld 2: Leerlingen voorspellen het F,s-diagram dat ze gaan krijgen bij het meten van de kracht bij een muizenval (om de energie te berekenen waarmee de val dichtklapt).

In dit geval vraagt de docent om een voorspelling van een tussenresultaat, niet van de conclusie (de hoeveelheid energie). Het is bedoeld als subtiele scaffold om de leerlingen te wijzen op het belang van de grafiek.

Experiment Ontwerpen

Uit onderzoek blijkt dat leerlingen de resultaten van het experiment veel effectiever accepteren en verwerken wanneer zij het eens zijn met de wijze waarop die resultaten zijn verkregen. Daarmee zijn activiteiten rond het ontwerpen van de onderzoeksmethode bijzonder krachtig; volgens sommige onderzoekers zijn ze zelfs noodzakelijk, ook bij een begripspracticum. Dat geldt des te meer wanneer de resultaten botsen met intuïtieve theorieën, zoals de relatie tussen resultante kracht en constante snelheid.

Daarnaast is het motiverend wanneer leerlingen autonomie ervaren en dat kun je ook binnen een vrij gesloten practicum goed bereiken door bepaalde keuzes aan de leerlingen over te laten.

De leerlingen ontwerpen de gehele onderzoeksmethode.

Vaak zal het helemaal ontwerpen van de onderzoeksmethode onderdeel uitmaken van een (groot) onderzoekspracticum of -project

Deze opdracht heeft veel potentie voor het stimuleren van heen-en-weer-denken omdat je de concepten die je wilt meten duidelijk voor ogen moet hebben om een methode te kunnen verzinnen. Dit geldt zeker wanneer één grootheid niet direct meetbaar is (bijvoorbeeld vermogen, flux of concentratie).

Een leerzame uitbreiding hierop het laten uitvoeren van elkaars methode. Je kunt dan ook leerlingen peerfeedback laten geven.

De klas bedenkt de onderzoeksmethode om te bepalen of er verschil is in warmtetransport tussen de doffe en de glimmende kant van aluminium. Eerst in tweetallen, dan wisselen ze in viertallen uit en vervolgens kiest de klas uit alle voorstellen er één om uit te voeren. De ervaring leert dat dit hele experiment in een blokkur uitgevoerd kan worden.

Het beschikbare materiaal is natuurlijk beperkend. Dat kun je vooraf eventueel subtiel aangeven door als context te noemen dat je je bakje nasi graag zo warm mogelijk wilt houden en te wijzen op bekertjes en een waterkoker.

De leerlingen ontwerpen een deel van de onderzoeksmethode.

De opdracht om een deel van de methode te ontwerpen, is krachtig om heen-en-weer-denken te stimuleren. Het gaat vrij snel en je kunt bepalen waar je de nadruk op wilt leggen door het aspect dat je zelf laat ontwerpen slim te kiezen. Het is handig om vooraf te bedenken in hoeverre je een leerling onjuiste keuzes laat uitvoeren. Dat kan zeer effectief zijn, maar je moet dan wel (kunnen) accepteren dat de leerling geen conclusie kan trekken.

Het ontwerpen kan een groot deel van de methode betreffen of juist een kleine parameter van het experiment (zie hiernaast).

Voorbeeld 1: De leerlingen bepalen wat de concentratie van de titer is bij het controleren van het azijnzuurpercentage op de fles.

Eigenlijk zit er een voorspelling in zo'n opdracht verstopt, waarmee het zeer effectief heen-en-weer-denken oplevert.

Voorbeeld 2: De leerlingen bedenken welke stappen ze moeten zetten om een mengsel van zand en zout te scheiden. De docent heeft kaartjes (of filmpjes) klaarliggen over de verschillende stappen. Wanneer de leerlingen duidelijk kunnen maken wat ze willen doen, krijgen ze het betreffende instructiekaartje.

De leerlingen selecteren een onderzoeksmethode.

Het laten selecteren van de methode kan op meerdere manieren:

1. Je geeft meerdere juiste methodes om een grootheid te bepalen en de leerlingen hebben autonomie om er één te kiezen. De methodes zijn kort beschreven, het zijn geen recepten.
2. Je geeft meerdere methodes, waarvan er één juist is. De leerlingen moeten de juiste methode selecteren.
3. Een variant hierop is het opknippen van een receptmatige methode. De leerlingen moeten de stappen eerst in de juiste volgorde plaatsen.

Voorbeeld 1: Leerlingen gaan de valversnelling bepalen. Ze mogen kiezen of ze dat doen via een slinger, via het experiment van Atwood of door met lichtpoortjes de tijd voor een val te meten. De keuze voor de methode moeten ze verantwoorden. Bij de nabespreking besteed je aandacht aan eventuele verschillen.

Voorbeeld 2: De leerlingen krijgen een opgeknipte kookboekmethode voor het scheiden van zand en zout. Ze moeten die methode eerst in de juiste volgorde leggen en kunnen daarna aan de slag.

De leerlingen selecteren de benodigheden.

Bij deze activiteit ligt de onderzoeksmethode vast. De docent daagt de leerlingen uit door ze zelf de juiste spullen te laten pakken. Er is dus slechts één goed antwoord. Op deze manier wordt het resultaat van het denkwerk over hoe je een grootte kunt meten duidelijk zichtbaar. Bij voorkeur geeft de docent de leerlingen de keuze uit veel meer spullen dan ze daadwerkelijk nodig hebben.

Leerlingen gaan de soortelijke warmte van koper bepalen met een calorimeter. De docent heeft de bijbehorende theorie behandeld en op het bord staat de ingevulde formule voor $Q_{op}=Q_{af}$. De blokjes koper liggen in kokend water klaar. De leerlingen moeten alle spullen die ze nodig hebben, zelf van de kar halen. Daar liggen bewust ook een aantal spullen, die niet nodig zijn, zoals statiefmateriaal, linialen, stopwatches en lucifers.

De docent ziet heel snel of de leerlingen de juiste spullen hebben geselecteerd en vraagt hier en daar naar de curieuzere keuzes.

De leerlingen inventariseren welke variabelen ze kunnen meten.

Bij deze activiteit bedenken leerlingen zelf welke variabelen interessant zouden kunnen zijn om te meten rondom een bepaald fenomeen. Het fenomeen en mogelijk ook (een deel van) de opstelling worden door de docent gegeven.

De onderzoeksvraag is: welke grootheden bepalen de hoekvergroting van een telescoop? De leerlingen gaan dit zelf onderzoeken. Ze bedenken eerst gezamenlijk welke variabelen eventueel in aanmerking komen om te variëren. Vervolgens gaat elk duo met één of twee van deze variabelen aan de slag. De klas als geheel krijgt zo een volledig antwoord.

Het is belangrijk om ook variabelen waarvan de docent weet dat ze geen invloed hebben op de vergroting (bijvoorbeeld de diameter van de lenzen) wel te laten onderzoeken. Uitsluiten dat het invloed heeft is in dit geval ook belangrijk.

De leerlingen bediscussiëren de gebruikte onderzoeksmethode.

Dit is een krachtige opdracht om heen-en-weerdenken te stimuleren, omdat je een methode echt moet begrijpen om hem betekenisvol te kunnen bediscussiëren. Dit is goed combineerbaar met het ontwerpen van (een deel van) de onderzoeksmethode.

Bijbehorende vragen om te stellen kunnen zijn:

- In welke grootte treedt de grootste meetfout op?
- Wat kun je aan de methode verbeteren om de meetonzekerheid te verkleinen?
- Ben je tevreden met je keuze voor [een parameter]? Waarom wel of niet? Wat zou het gevolgd zijn van een andere keuze?

Voorbeeld 1: Bij het bepalen van de oplosenthalpie van CaCl met behulp van een calorimeter vraagt de docent na afloop of de verkregen waarde te hoog of te laag zal zijn gegeven dat alle warmtetransport naar de omgeving is verwaarloosd.

Voorbeeld 2: Bij het bepalen van de dichtheid van een blokje aluminium vergelijken de leerlingen twee methodes om het volume te bepalen, onderdompelen en opmeten van de afmetingen. De docent vraagt vervolgens hoe beide methodes verbeterd kunnen worden.

Bronnen:

Heen-en-weer-denken:

Van den Berg, E. (2010). Natuurwetenschap en techniek in het basisonderwijs: Van hands-on naar minds-on, van manipuleren van objecten naar manipuleren van ideeën. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 27(1 & 2), 95-98.

Activiteiten:

Diverse docenten en observaties

Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.

Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.

Etkina, E., Murthy, S., & Zou, X. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. *American Journal of Physics*, 74(11), 979-986.

Leysink, J., E. van den Berg (2002). Productive confusion in the laboratory. *Science Education International*, 13(1), 8-10.

Millar, R. (2009). Analysing practical activities to assess and improve effectiveness: The practical activity analysis inventory (PAAI). *York: Centre for Innovation and Research in Science Education, University of York*,

Vragen, opmerkingen, ideeën of andere feedback?
Meedoen aan een onderzoek naar heen-en-weer-denken?
Mail Wouter: w.p.spaan@hva.nl

