
Argumentatie en overtuigingskracht

Bij onderzoek moet je niet alleen de vraag beantwoorden, maar ook een zo *overtuigend mogelijk* antwoord geven op die vraag. In de klas heb je dan tenminste twee verschillende uitdagingen. Ten eerste, hoe krijg je leerlingen zover *dat* ze het meest overtuigende antwoord geven? En ten tweede, hoe onderwijs je wat *telt* als overtuigend in de natuurwetenschappen en meer speciaal in de natuurkunde?

'Argumentatie' zien we in dit artikel als het *produceren en kritisch evalueren* van een zo overtuigend mogelijk antwoord op een natuurwetenschappelijke onderzoeksvraag.

Er zijn veel voorbeelden van practica die zich richten op *leren onderzoeken* en die bijdragen aan de ontwikkeling van bovenstaande inzichten.

Demonstraties richten zich vaak op het tonen van verbanden en het visualiseren van begrippen. Maar diezelfde demonstraties kun je -als je ze iets anders insteekt- ook richten op begrip van bewijs en de noodzaak jezelf en anderen te overtuigen dat je bent gekomen tot de best mogelijk verklaring voor wat je ziet.

Voorbeeld: de meest overtuigende conclusie

Met havo-4 leerlingen heb je gezamenlijk aan één opstelling gemeten om de relatie tussen de lengte en de weerstand van een constantaan draad te bepalen. Je vraagt je leerlingen met de gevonden waarden (draadlengtes l en de bepaalde weerstand) een conclusie op te schrijven over de relatie tussen lengte l en weerstand R van de draad. Enkele typische antwoorden (afgezien van onbruikbare beweringen) staan hieronder, genummerd van 1 tot 4. In deze activiteit orden je ze van *zwak* naar *sterker*. Eerst de zwakste:

1. Als de lengte verandert, verandert de weerstand ook.

Vraag je leerlingen of ze dit een goede conclusie vinden, waarom wel of niet, en of ze een nóg betere conclusie kunnen bedenken. Bij het nadenken over de kwaliteit van de conclusie helpt een context. Bijvoorbeeld: de draad is onderdeel van de schakeling in een apparaat dat kapotgaat bij een te grote stroom. De onderzoeksoopdracht: bepaal de lengte van de draad nodig voor een maximale maar veilige stroom van X ampère. In deze context maak je de vraag over de kwaliteit van de conclusie tastbaar. Het antwoord helpt om een goed werkend apparaat te maken.

Presenteer één voor één de leerling-antwoorden in toenemende kwaliteit, steeds met dezelfde vragen als bij het eerste antwoord.

Typische voorbeelden:

2. Als de lengte groter wordt, wordt de weerstand ook groter.

3. Als de lengte twee keer zo groot wordt, wordt de weerstand ook twee keer zo groot.

4. De weerstand is recht evenredig met de lengte waarbij $R = 14,5 l$.

Merk op dat je met antwoorden 1-3 niet veel kan. Het onderzoek is voor niets gedaan. We kunnen antwoord 4 nog overtuigender maken door het bijbehorende bewijs (bijvoorbeeld een grafiek) te presenteren.

De leerlingen kunnen zonder twijfel het vierde antwoord als het beste identificeren, maar wat *maakt* dat nu het beste? Wat zijn de eigenschappen van het beste antwoord? Aan welk antwoord heb je wat om te bepalen hoe lang de draad precies moet zijn in het fictieve apparaat? Pas als ze antwoord hebben op die vragen is bereikt wat ze van deze activiteit zouden moeten onthouden. Met een beetje coaching kunnen deze leerlingen wel verzinnen dat een antwoord beter is als het:

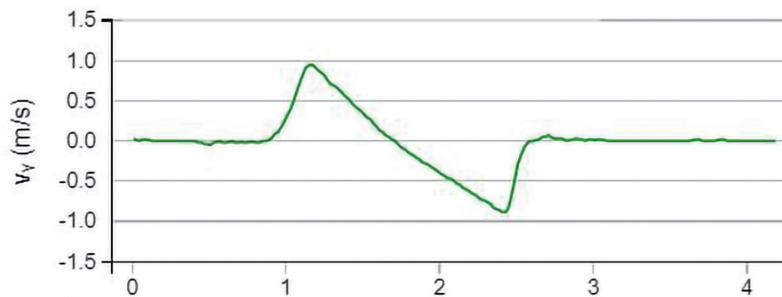
- meer informatie bevat ('toenemen' is informatiever dan 'veranderen')
- meer details geeft ('twee keer zo groot' is gedetailleerder dan 'toenemen')
- naast woorden ook getallen bevat (pas als je de verhouding weet, kun je de lengte uitrekenen).

Een mooie eindconclusie bij deze activiteit kan zijn: *het antwoord op de onderzoeksvraag moet kloppen met de metingen en zo informatief, volledig en bruikbaar mogelijk zijn*. De begrippen 'informatief, volledig en bruikbaar' zijn concreet en helder voor de H4 leerlingen. Het is een praktisch opstapje richting de overkoepelende, maar abstracte begrippen *geldigheid en betrouwbaarheid* (van meetresultaten, interpretaties en conclusies).

'Ombouwen van een demonstratie'

Argumentatie speelt niet alleen bij het trekken van conclusies, het speelt in *iedere* fase van een onderzoek een centrale rol. Met enkele voorbeelden laten we zien hoe je de demonstraties in dit boek eenvoudig aanvult voor 'leren argumenteren' in andere fasen van onderzoek. We doen dit eerst op basis van de demonstratie 'Heuvel op...heuvel af' uit dit boek en vervolgens met een andere demonstratie naar Pols et al. (2022). Deze praktische voorbeelden kunnen later naar eigen inzicht gebruikt worden om andere demonstraties om te bouwen.

Wheel - Velocity (100 Hz)



In het (v,t)-diagram is de richtingscoëfficiënt van de omhoog gaande beweging verschillend van die van de neerwaartse beweging.

Demonstratie 'Heuvel op...heuvel af' focust op het idee dat de versnelling van een voorwerp op het hoogste punt niet 0 is. De nadruk ligt dus op ontwikkeling van begripsmatige kennis. Hoe kunnen we diezelfde demonstratie richten op argumentatie? Wie goed kijkt naar het (v,t)-diagram ziet dat de richtingscoëfficiënt van de grafiek niet constant is. Wanneer het wagentje naar boven rijdt lijkt de versnelling groter dan wanneer het naar beneden rijdt. Is dat een meetfout? Is de wrijving anders? Is er een fysisch verschijnsel dat een mogelijke verklaring geeft? De vraag is dan wat we kunnen doen om dit te onderzoeken. Bijvoorbeeld het wagentje omdraaien en kijken of de grafiek hetzelfde blijft. Moeten we misschien naar andere grootheden kijken (a,t) om beter zicht te krijgen op wat er precies gebeurt? En als je door hebt dat de richting van de wrijvingskracht omdraait en die er dus voor zorgt dat er een knik in de (v,t)-grafiek zit, hoe overtuig je anderen hier dan van? Welke grafiek zou je bijvoorbeeld presenteren?

Belangrijk is dat je in een demonstratie de verschillende doelen onderscheidt en vervolgens toespitst op één doel. Houd het behapbaar voor je leerlingen en jezelf, focus op één of twee aspecten van argumentatie, en ga een volgende keer weer op andere onderdelen in. Je hoeft niet in een keer *alles* te doen wat in een echt onderzoek speelt.

De piratenslinger

Leerlingen zien eerst een spannende clip uit een piratenfilm waarin de held aan een lang touw van het ene naar het andere schip slingert, terwijl overal zwaarden flitsen en explosies afgaan. De opdracht: ontwerp een nieuwe stunt voor zo'n film, waarin de held precies op het juiste moment landt op het tweede schip. Doe daarvoor onderzoek aan de hand van een model: een blokje hangend aan een koord. De eerste stap in het onderzoek is een oriëntatie op de situatie en het bepalen van de onderzoeksvraag.

Oriëntatie: Wat moet er onderzocht worden?

De vertaling van de beweging van de piraat naar een blokje aan een koord is niet zo moeilijk. Op basis van de context en de kennis over schommels, kunnen leerlingen eerste onderzoeksvragen opstellen die betrekking hebben op een potentiële factor van invloed op de 'slingertijd' (de tijd die de piraat er over doet om de andere kant te bereiken). Met de onderzoeksvragen die ze bedenken kun je het precies zo aanpakken als met de conclusies over de constantaan draad. Vul wat ze bedenken zo nodig aan met eigen ideeën, orden ze, laat ze weer één voor één zien, en stel er steeds vragen bij voor je naar de volgende gaat:

Voor een blokje dat heen en weer slingert aan een koord is de onderzoeksvraag:

1. Hoe snel slingert het blokje?
2. Verandert de slingertijd als de massa van het blokje verandert?
3. Wordt de slingertijd groter als de massa van het blokje groter wordt?
4. Is de slingertijd evenredig met de massa van het blokje?
5. Met welke formule of grafiek kun je de slingertijd vinden als je de massa van het blokje weet?

Bijbehorende vragen: *Is dit nu een goede onderzoeksvraag? Waarom wel of niet? Kun je een nog betere bedenken? Heeft de stuntpersoon iets aan het antwoord op de vragen 1-4?*

Spoor samen op waaraan je een goede onderzoeksvraag herkent. Opnieuw kun je mikken op een mooie eindconclusie: natuurkundigen proberen in hun onderzoek veelal een *verband* vast te stellen (of het ontbreken daarvan) tussen een onafhankelijke en afhankelijke variabele. Dit is een fundamenteel inzicht. Kun je niet bedenken wat er gemeten moet worden, dan kun je meestal niet eens beginnen met je onderzoek!

Variabelen controleren en eerlijk meten

Is eenmaal een goede onderzoeksvraag voorhanden dan kun je gaan bedenken hoe je de metingen gaat doen. Voor de slingerproef verzinnen leerlingen in klas 4 meestal wel dat de slingertijd naast de massa mogelijk afhangt van de beginhoek en de lengte. Voor je dan gaat meten, kun je leerlingen vragen: hoe gaan we dit doen? Maak die vraag concreet, bijvoorbeeld als volgt: *Ik heb tabellen voorbereid om de meetwaarden in te vullen. Welke vind je het best, welke het slechtst, en waarom?*

1.1	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)
	100	1,50	
	101	1,50	
	102	1,50	
	103	1,50	
	104	1,50	

1.2	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)
	200	0,25	
	200	0,50	
	200	1,00	
	200	1,25	
	200	1,50	

1.3	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)
	100	0,25	
	200	0,50	
	300	0,75	
	400	1,00	
	500	1,00	

1.4	Massa (g)	Lengte (m)	Slingertijd (s)
	100	0,75	
	200	0,76	
	300	0,77	
	400	1,49	
	500	1,50	

Tabellen bij 'variabelen controleren'.

Met de getoonde tabellen kun je de leerlingen na laten denken over het interval tussen de metingen, het bereik in de onafhankelijke variabele(n), en het begrip 'eerlijke meting'. Zo laat je ze vooraf nadenken over de consequenties van hun keuzes, en de invloed daarvan op de kwaliteit van het nog te vinden antwoord. Je helpt ze een stap te zetten die ze bij zelfstandig werk heel gemakkelijk overslaan. Na de discussie kan de klas zelf de tabellen voorbereiden die in de demonstratie gebruikt gaan worden, en samen bedenken waarom die voldoen.

Een andere optie is een onhandige keuze (bijvoorbeeld tabel 1.4) in je demonstratie te gebruiken en de discussie pas na het meten te houden. Focus in dit specifieke voorbeeld dan liever op de relatie van de lengte met de slingertijd, de massa heeft immers geen systematische invloed en dat compliceert de discussie onnodig.

Vraag de klas dan om een conclusie te trekken, en goed na te gaan of die conclusie verdedigd kan worden. Maak dat 'goed nagaan' concreet, met vragen als:

Zou de verandering ook door iets anders veroorzaakt kunnen zijn?

Weet je nu ook wat er gebeurt als je de lengte nog twee keer zo groot maakt?

Hoe zeker ben je van de vorm van de grafiek tussen de metingen?

De meeste leerlingen zullen pas tijd en energie stoppen in het bedenken van correcte methoden wanneer ze inzien waar al die moeite goed voor is. Je kunt ze dat vertellen, maar we denken dat het leerzamer is als leerlingen er zelf over nadenken en hun eigen redenen proberen te geven in een activerende aanpak. In practica leidt dat al gauw tot omslachtigheid, maar in demonstraties kun je dat best vlot en gezamenlijk doen. Die correcte methoden zijn natuurlijk niet meteen paraat en toepasbaar, maar passen in een leerlijn voor 'leren onderzoeken'.

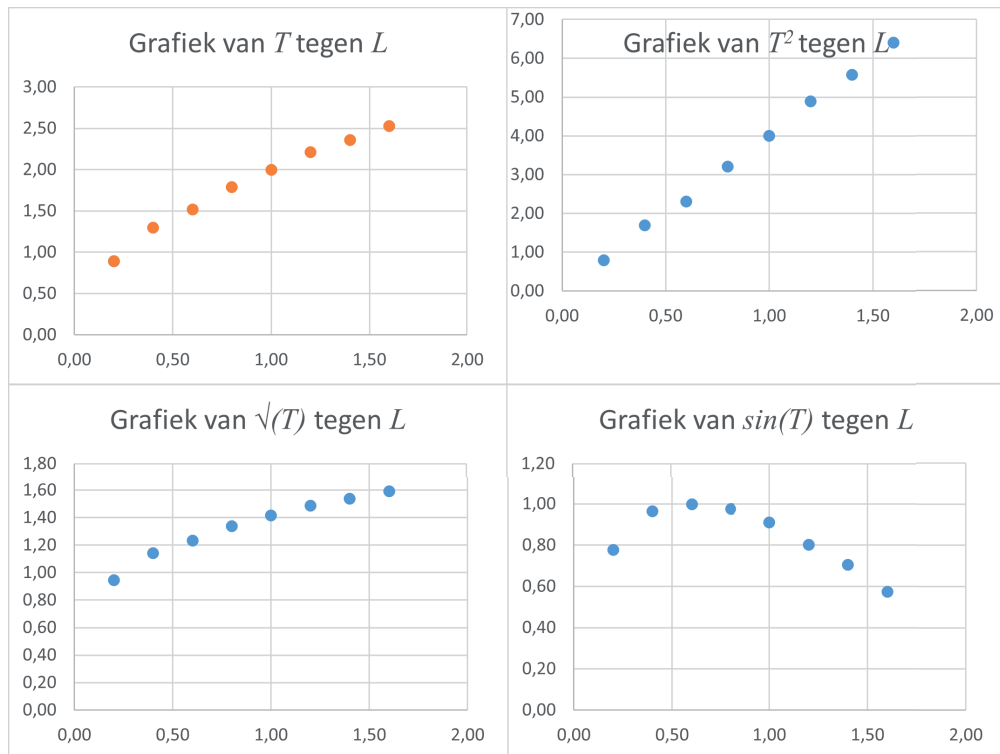
Metingen interpreteren

De invloed van de massa en (kleine) beginhoek op de periode wordt in slingerproefkookboekpractica en -demonstraties vaak niet onderzocht. Een gemiste kans! Juist als leerlingen een verband verwachten dat er niet is (volgens de theorie) wordt het interpreteren van de data een echt probleem dat om een oplossing vraagt. Er zal immers ten gevolge van meetfouten *wel* een fluctuatie in de metingen zijn, maar betekent die nu iets, ja of nee? Wat veroorzaakt de fluctuaties: de meetmethode, invloeden van buitenaf, of een mogelijk verband tussen de grootheden? Omdat leerlingen vaak geneigd zijn hun data zo te analyseren en te presenteren dat ze het verband dat ze

verwachten bevestigen, kun je hier werk van maken. Laat ze gerust helpen bij de uitvoering en een paar keer opnieuw meten: *Er komt iedere keer iets anders uit jullie meting, kan dat niet beter? Of: als we nou de meting een paar keer herhalen en het gemiddelde nemen, helpt dat? En: je hebt echt goed gemeten, en je ziet iets anders dan wat je had verwacht. Wat is nu overtuigender, wat je ziet of wat je had verwacht?* Zo werk je aan argumentatie door te focussen op redenen voor het herhalen van metingen, minimaliseren van meetfouten en rapporteren van spreiding.

Moet er een definitief antwoord komen op de vraag of de factor van invloed is, stel dan twee even lange slingers op, geef ze een verschillende massa (of kleine beginhoek) en laat ze gelijktijdig los; bij een zorgvuldige voorbereiding blijven ze mooi naast elkaar slingeren. Maar doe dat vooral *niet* aan het begin als je wilt dat je leerlingen leren onderzoeken. Benut ook de kracht van demonstraties waarin eigenlijk niets gebeurt!

Metingen representeren



Metingen representeren.

Tabel 2 presenteert geïdealiseerde, gefingeerde metingen waarbij we een grafiek maken om het verband tussen de grootheden te onderzoeken.

Tabel 2. Metingen aan een slinger van lengte L en periode T , met berekende, T^2 en $\sin(T)$.

L (m)	T	\sqrt{T}	T^2	$\sin(T)$
0,20	0,89	0,94	0,79	0,78
0,40	1,30	1,14	1,69	0,96
0,60	1,52	1,23	2,31	1,00
0,80	1,79	1,34	3,20	0,98
1,00	2,00	1,41	4,00	0,91
1,20	2,21	1,49	4,88	0,80
1,40	2,36	1,54	5,57	0,70
1,60	2,53	1,59	6,40	0,57

Op basis van de bekende formule is het gebruikelijk om de periode uit te zetten tegen de wortel uit de lengte. Maar voor leerlingen is dat niet evident, we kunnen dan ook beter starten met de onafhankelijke variabele op de horizontale as te zetten. We weten ook de formule nog niet precies, die willen we juist onderzoeken...

Maar stel nu dat ze een verband vermoeden, welke activerende instructie zorgt ervoor dat leerlingen nadenken over wat er op de assen gezet wordt?

Een optie is grafieken 1-4 te laten zien, en de volgende vragen aan de klas voor te leggen:

1. Ga na welke van de grafieken 1-4 fout is, en niet past bij de metingen in Tabel 2.
2. Kies zelf een grafiek en bepaal daaruit het verband tussen periode T en lengte L .
3. Als het goed is heb je je grafiek in vraag 2 slim gekozen. Hoe heb je je keuze gemaakt?

De kans dat leerlingen nu snappen waarom je niet T maar T^2 uitzet tegen L lijkt ons groter in deze situatie dan wanneer je voorschrijft hoe de grafiek eruit moet zien. Ze beseffen dat ze altijd de meest toepasselijke representatie moeten kiezen. In al deze activiteiten komt steeds weer terug dat je een zo volledig mogelijk, helder, onderbouwd en bruikbaar antwoord op de onderzoeksvraag moet formuleren.

De beschreven voorbeelden gaan over de oriëntatie op het probleem en vaststellen van te meten grootheden, keuze van bereik van en interval tussen meetwaarden, representatie en interpretatie van metingen en trekken van conclusies. Argumentatie is echter van even groot belang bij het formuleren van verwachtingen, kiezen van meetinstrumenten en –procedures, verbinden van de praktijk met de theorie, en formuleren van vragen voor verder onderzoek, om maar wat te noemen. De uitdaging aan de lezer is om die generalisaties zelf te verzinnen en uit te proberen, bijvoorbeeld in de demonstraties die in dit boek beschreven worden, maar liefst ook in andere onderwijsactiviteiten.

Bronnen

Pols, C.F.J., Dekkers, P.J.J.M., de Vries, M.J. (2019). Introducing argumentation in inquiry - a combination of five exemplary activities. *Physics Education* 54 (5), 055014.

Pols, C.F.J., Dekkers, P.J.J.M., de Vries, M.J. (2021). Defining and Assessing Understandings of Evidence with the Assessment Rubric for Physics Inquiry - Towards Integration of Argumentation and Inquiry. *Physical Review Physics Education Research*.