

Leerlingen leren onderzoeken

De meeste leerlingen voeren een natuurkundepracticum op een niet-wetenschappelijke manier uit. Kritisch nadenken over de opzet en uitvoering van hun eigen onderzoek blijkt lastig. Door bij meerdere practica hier aandacht aan te schenken, lijken de leerlingen zich bewuster te worden dat dit een belangrijk onderdeel is van onderzoek doen.

Een van de dingen die we willen bereiken met het uitvoeren van natuurkundepractica op de middelbare school, is dat leerlingen leren onderzoeken. Echter, volgens de wetenschappelijke literatuur lukt dit niet goed [1]. Dit zien we zelf ook aan de kwaliteit van veel profielwerkstukken. Een mogelijke reden waarom dit niet goed lukt is dat de meeste practica redelijk gesloten zijn en we leerlingen niet hun eigen onderzoek laten bedenken en uitvoeren [2]. Mijn vermoeden is dat het ook niet lukt vanwege de geringe relevantie voor een leerling om bij een praktisch onderzoek netjes te werken, zelf na te denken over meetinstrumenten, keuzes te maken betreffende bereik en interval en die te verantwoorden, nauwkeurig te meten en dat vervolgens allemaal goed op te schrijven. Zeker wanneer je dit vergelijkt met de relevantie voor een wetenschapper

om dit te doen. Leerlingen voeren een onderzoek (nauwkeurig) uit omdat de docent het vraagt en ze er een cijfer voor krijgen. Wetenschappers doen dit omdat het hun broodwinning is, hun reputatie afhangt van de kwaliteit van de onderzoeken en publicaties, ze anderen willen overtuigen van de juistheid van de bevindingen en ze de wetenschap verder willen brengen. Kunnen we één van die factoren die het voor wetenschappers van belang maakt om zo grondig na te denken over bijvoorbeeld meetmethodes vertalen naar een situatie voor de leerling? Het kan een goede strategie zijn een sociale component te introduceren door leerlingen elkaar te laten overtuigen van de juistheid van de bevindingen. Het is voor leerlingen belangrijk dat andere leerlingen hun werk positief beoordelen en weinig commentaar leveren. Dit is analoog aan het ontvangen van een positieve peerreview in de wetenschap, waarna alleen maar *minor revisions* te verwerken zijn.

Door het over en weer stellen van kritische vragen over de correcte uitvoering van het onderzoek en de validiteit van de conclusies, beoordelen ze niet alleen anderen, maar ontwikkelen ze tegelijkertijd standaarden voor kwaliteit. Deze standaarden kunnen weer gebruikt worden om het eigen werk te beoordelen en te herzien.

Zo'n proces waarin leerlingen standaarden voor kwaliteit ontwikkelen, de zogenoemde *concepts of evidence* (CoE) [3], zal niet vanzelf gaan, noch in een keer lukken. Door in meerdere practica of activiteiten aandacht te besteden aan CoE, zouden ze die kunnen gaan herkennen en eigen ma-

ken. Dit kan al met heel eenvoudige en korte practica [4]. In dit artikel beschrijf ik twee practica waarin het voor leerlingen duidelijk wordt waarom die CoE zo belangrijk zijn. In het eerste practicum mag alles fout gaan, als leerlingen dit maar weten te herstellen in het tweede practicum en laten zien wat ze geleerd hebben [5]. In beide practica gebruiken we een context om duidelijk de relevantie van goed onderzoek te illustreren. In totaal gaat het om ongeveer vier lessen.

Veilige Zweedse wegen

Leerlingen maken deel uit van de fictieve Swedish Road Service (SRS) die adviseert over het bouwen van nieuwe wegen en het afsluiten van bestaande wegen bij te veel sneeuw. De combinatie van steile hellingen en sneeuw kan gevaarlijke situaties opleveren [6]. De leerlingen worden gevraagd te onderzoeken hoe de te leveren kracht van een auto afhangt van de hellingshoek en tot welke hoek de wrijvingskracht groter is dan de zwaartekrachtcomponent parallel aan de helling. Daarnaast moeten zij bedenken welke factor nog meer van invloed kan zijn op de te leveren kracht en dat uitwerken tot een onderzoek. De resultaten en aanbevelingen moeten gepresenteerd worden aan 'de overheid' die de adviezen overneemt of verwierpt. De metingen worden gedaan met een eenvoudige opstelling waarbij een blokje hout (model voor de auto) met behulp van een touwtje en een katrol de helling opgetrokken wordt. De hellingshoek is eenvoudig te veranderen, zie figuur 1. Natuurkundig gezien hangt de te leveren kracht af van de massa, de hellingshoek

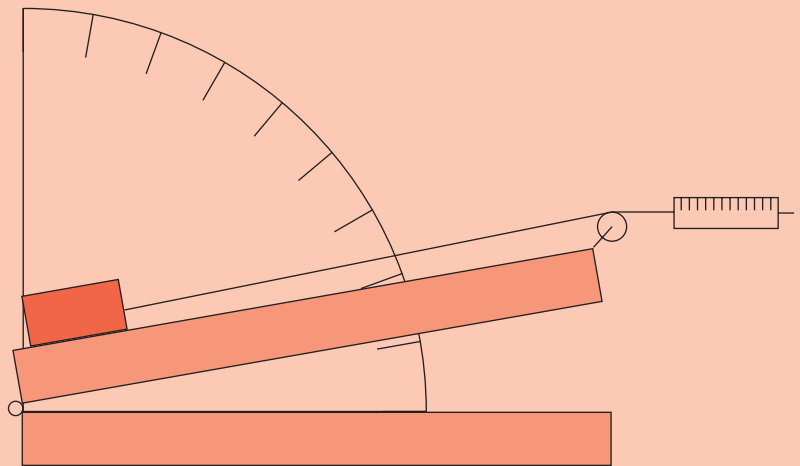
en de wrijvingscoëfficiënt volgens: $F = m \cdot g \cdot (f \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha))$ en een maximale veilige hoek van: $\tan(\alpha) = f$. Leerlingen hebben het practicum zelfstandig gedaan zonder verdere aanwijzingen over hoe ze de metingen moesten uitvoeren en waar op te letten. Ik verwachtte niet dat leerlingen meteen in staat zouden zijn om kritische vragen te stellen. Zodoende heb ik van te voren geïnventariseerd wat er fout zou kunnen gaan en aan de hand van die analyse kritische vragen wat betreft de betrouwbaarheid van de data opgesteld. Het was de bedoeling om bij elke groep één vraag te stellen waarna ze zelf zouden concluderen dat ze de kwaliteit van het eigen werk in twijfel zouden trekken (gemeen, maar effectief):

- Heb je de hoeken van het meetinstrument nagemeten? (gerelateerd aan de geodriehoeken van HEMA en het filmpje in [7])
- Is bij elke meting de snelheid waarmee je het blokje omhoog hebt hetzelfde?
- Zijn je bevindingen in overeenstemming met de theorie?
- Hoe zeker ben je van het lineaire verband dat je hebt gevonden? (naar aanleiding van een leerling die een rechte lijn door zijn meetpunten trok, zie figuur 2)

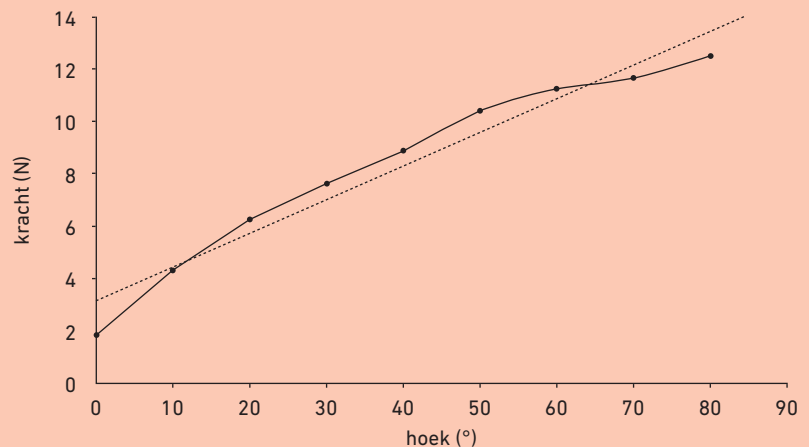
Nadat de leerlingen hun werk presenteerden, heb ik een presentatie gegeven beginnend met het uitwerken van de theorie en de verwachtingen. Pas daarna heb ik de meetresultaten getoond en antwoord gegeven op de onderzoeksvragen. Mijn advies was om ver onder de kritische hoek van 11° te blijven in verband met slipgevaar. Dit was veel kleiner dan de maximale hellingshoek van 25° die sommige leerlingen adviseerden. Daarna is nog kort besproken waar leerlingen een volgende keer op zouden moeten letten bij het bedenken van een methode.

Veilige terugkeer voor astronauten

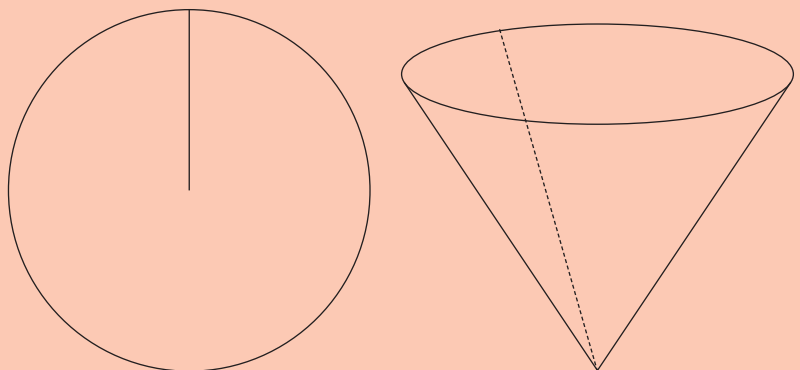
Voor het veilig laten terugkeren van astronauten doen de leerlingen



Figuur 1. De opstelling waarbij leerlingen de kracht meten die nodig is om het blokje hout met constante snelheid omhoog te trekken.



Figuur 2. Volgens de leerling is er een lineair verband tussen de gemeten kracht (omgerekend naar een situatie voor een echte auto) en de hellingshoek.



Figuur 3. Van een papieren cirkel wordt een kegel gevouwen waarmee het experiment uitgevoerd wordt.

(fictief) voor NASA onderzoek naar factoren die invloed hebben op de snelheid van een zogenoemde *crew return vehicles* (CRV). Als bekend is hoe elke factor de snelheid beïnvloedt, dan kan NASA een computermodel maken om te bepalen op welke hoogte de parachutes open moeten klappen en hoe groot de impact dan is op de astronauten. De leerlingen werd gevraagd de input voor dat computermodel te leveren, maar hoefden dit computermodel niet zelf te ontwikkelen.

De CRV wordt gemodelleerd als een vallende papieren kegel, zie figuur 3. Het practicum is een bewerking van een eerder gepubliceerd onderzoeksparticum [8].

Gezamenlijk bepalen de leerlingen eerst welke factoren van invloed kunnen zijn op de vallsnelheid van de CRV en welke van die factoren onderzocht kunnen worden (zo was bestuderen van de invloed van de dichtheid niet mogelijk). De onderzoeken worden vervolgens verdeeld over de groepjes waarna de leerlingen inventariseren welke regels ze kennen rond het doen van goed onderzoek. Aan de hand van deze regels stellen zij drie kritische vragen op die ze zowel aan zichzelf kunnen stellen als aan andere groepen. Leerlingen kwamen met goed geformuleerde en relevante vragen. Enkele voorbeelden:

- Hoe betrouwbaar waren de gebruikte meetinstrumenten tijdens het onderzoeken?
- Hoe weet je zeker dat er geen andere factoren een rol hebben gespeeld bij jullie metingen?
- Komt dat wat je echt hebt gemeten overeen met de waarde die je wilde meten? En hebben de gemeten waarden anders een aantoonbaar verband met dat wat je wilde meten?

Na het bedenken van de vragen maken de leerlingen een plan van aanpak waarbij hen expliciet gevraagd wordt om na te denken over de meetinstrumenten. Als laatste krijgen ze de opdracht: Schrijf een rapport voor NASA waarin je vertelt welke factor je hebt



Figuur 4. De docent toont de valproef met de kegel.

onderzocht, hoe je dat hebt gedaan, wat daar uitkomt en waarom je denkt dat jouw resultaten en conclusies betrouwbaar zijn. Geef eventuele aanbevelingen voor vervolgonderzoek. De opgestelde rapporten worden uitgewisseld tussen leerlingen waarna ze elkaar feedback mogen geven aan de hand van de regels en kritische vragen die ze eerder zelf hebben opgesteld. Leerlingen krijgen nog de kans om teksten aan te passen en leveren deze vervolgens bij mij in. Uit deze verslagen blijkt ook dat leerlingen goed opletten en snappen waar het om gaat. Zo presenteert een groepje alleen de gemiddelde valtijden waarna ze het volgende commentaar krijgen van een medeleerling: Wat was de spreiding tussen deze drie metingen? Is de spreiding relatief groot of klein?

Ervaring en conclusie

Door in beide onderzoeken keuzes open te laten en relevantie in te bouwen, lijken we een goede stap te maken in het aanbrenge van onderzoeksvaardigheden. Alhoewel de ruimte hier ontbreekt om in te gaan op de details, zagen we een enorm verschil tussen de uitvoering van de twee practica. Leerlingen besteedden in het eerste onderzoek nauwelijks aandacht aan meetnauwkeurigheid, herhalen van metingen, controleren

van instrumenten et cetera. In het tweede practicum dachten zij wel goed na over de keuzes die gemaakt moesten worden en over de betrouwbaarheid en validiteit van zowel data als conclusies. De keuzes die ze maakten, bijvoorbeeld voor de meetinstrumenten, konden ze verantwoorden door na te denken over de gewenste nauwkeurigheid: een weegschaal meet tot één gram nauwkeurig, een Mettler-precisieweegschaal levert wel de gewenste nauwkeurigheid (maar hoe werkt dat apparaat dan?). In sommige gevallen werd wel overdreven: “ik had een camera klaarliggen met een opnamesnelheid van 120 frames per seconde, deze camera heeft er maar 60 per seconde. We doen de metingen dus later pas met die andere camera”. Voor een meting van ongeveer 3,0 seconde zal dit echter geen significant verschil opleveren.

Mijn vermoeden is dat we nog een lange weg te gaan hebben willen we bereiken dat leerlingen echt (zelfstandig) kunnen onderzoeken, maar de beschreven practica kunnen hier zeker aan bijdragen.

Freek Pols is natuurkundedocent aan het ISW 's-Gravenzande en doet daarnaast promotieonderzoek gericht op het verbeteren van natuurkundeonderwijs aan de hand van practica. Hij richt zich daar met name op het gebruik van *concepts of evidence* en het verbeteren van de *data-analyse*. De twee voorschriften zijn op te vragen via de mail: c.f.j.pols@tudelft.nl.

REFERENTIES

- 1 D. Hodson, A critical look at practical work in school science, *School Science Review*, 70(256), 33-40 (1990).
- 2 A. Hofstein en V.N. Lunetta, The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century, *Science education*, 88(1): 28-54 (2004).
- 3 R. Gott et al., Research into understanding scientific evidence. www.dur.ac.uk/rosalyn.roberts/Evidence/cofev.htm (2003).
- 4 C.F.J. Pols, Een foto of grafiek zegt meer dan 1000 woorden, *NVOX*, 2, 2 (2016).
- 5 De bijbehorende werkbladen en docentenhandleiding kunnen bij de auteur worden opgevraagd. https://youtu.be/rTF_UiwPRYo.
- 6 <https://youtu.be/gyUZTTLpDtk>.
- 8 A. Mooldijk en E. Savelsbergh, An example of the integration of modeling into the curriculum: a falling cone, *Proceedings of the GIREP: Physics Teacher Education Beyond*, 625-628 (2000).