

Leren onderzoek doen

Freek Pols

In de volgende serie zorgvuldig bedachte of doorontwikkelde practica en activiteiten, leren we leerlingen de diverse facetten van onderzoek doen. Bij elk onderzoek ligt de nadruk niet op het verzamelen van data, maar op de beantwoording van de vragen na de dataverzameling en op de centrale discussie die in de klas plaatsvindt. Het lesmateriaal is goed geschikt voor het vwo. Niet alle practica en opdrachten zijn zelf verzonnen, waar mogelijk is verwezen naar de bedenker.

Voor de havo zijn ongeveer dezelfde practica gegeven, maar liggen de accenten anders omdat we van hen niet mogen en hoeven te verwachten een academische vervolgstudie te gaan doen. Wel mogen we van hen verwachten dat ze kunnen nadenken over hetgeen waar ze mee bezig zijn. Dit komt bijvoorbeeld terug bij het bekertjespracticum waarbij vwo-leerlingen wel de relatieve meetonzekerheid bepalen en vergelijken, maar waar we het bij havo-leerlingen houden op het zien dat er een spreiding is in de metingen en daarom een herhaling herhaald moet worden. Ook bleek tijdens het maken en testen van deze serie bijvoorbeeld dat de discussie of er een 'echte' waarde (voor een meting) bestaat voor de havo-leerlingen te abstract is.

Freek Pols is als natuurkundedocent verbonden aan het ISW 's-Gravenzande. Tevens is hij onderzoeker aan de TU Delft, waar hij onderzoek doet naar het verbeteren van de data-analysevaardigheden die bij practica een rol spelen.

Practicum 1: De mens van Vitruvius

Waarom wetenschap belangrijk is en hoe groot een conclusie mag zijn.

Idee:

De opbrengst van natuurwetenschappelijk onderzoek zijn de relaties tussen verschillende grootheden. Deze relaties maken het mogelijk om gebeurtenissen of eigenschappen van gebeurtenissen (zeer) precies te voorspellen.

Voor het bepalen van zo'n relatie zijn observaties nodig. Maar hoeveel observaties heb je dan nodig? Welke conclusie kun je trekken op basis van die observaties? Is het verband wat je vindt geldig voor iedereen? Wat moet je doen om nog beter antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag?

Practicum:

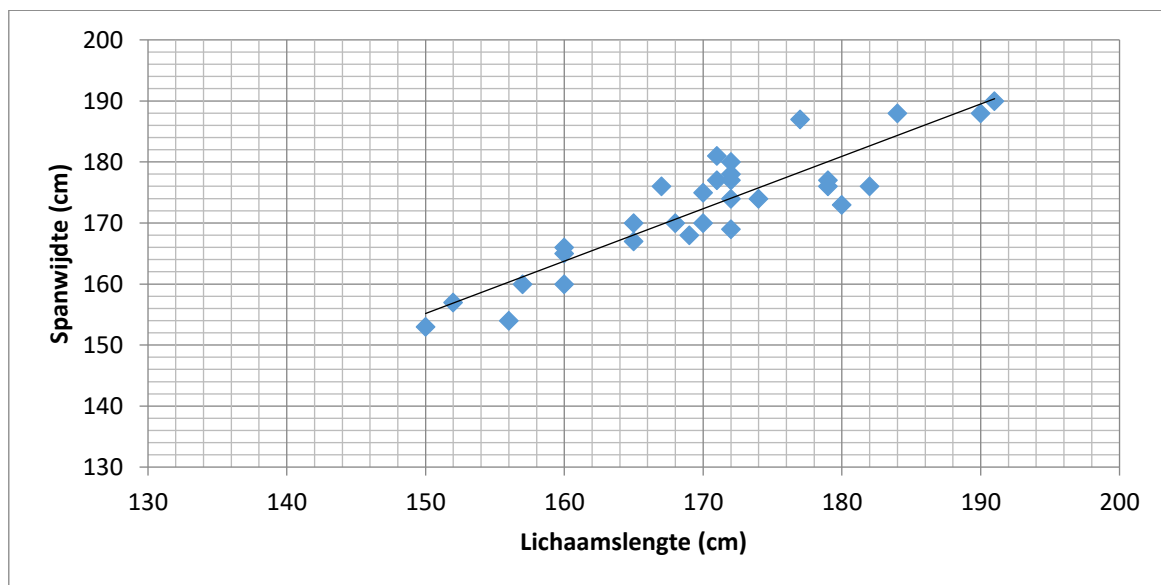
Onderzoeksvraag:

Kan een kleermaker een passende trui maken wanneer een persoon zijn lichaamslengte opgeeft?

Opdracht:

Verzamel als klas de lichaamslengte en bijbehorende spanwijdte (van vingertop tot vingertop bij gespreide armen). Zet de verzamelde data in excel op het digitale schoolbord.

Uitkomst:



Discussie vragen:

- Was één meting genoeg geweest voor het vinden van een verband? En twee? Waarom wel/niet?
- Wat is het voordeel van het delen van metingen? Hoe is dat bij andere practica?
- Kun je op basis van de verzamelde data antwoord geven op de vraag?
- Kun je een wiskundig verband geven tussen de spanwijdte en de lichaamslengte? In hoeverre is dat verband geldig?
- Moet dat wiskundig verband door de oorsprong gaan? Waarom wel/niet?
- Zijn er leerlingen met een 'abnormale' lichaamsverhouding?
- Wat leert dit onderzoek je over wetenschap en de opbrengst van wetenschap?

Vervolg les:

In de vervolg les wordt er expliciet gemaakt dat bij een onderzoek er sprake is van een afhankelijke en onafhankelijke variabele en worden de regels omtrent datapresentatie in een grafiek toegelicht.

Practicum 2: De slingerproef, maar dan anders

Het aanschouwen van data en het trekken van volledige conclusies.

Idee:

De conclusies die je kunt trekken uit een practicum zijn beperkt, je hebt immers niet veel data en je hebt maar een enkele grootte gewijzigd. Maar als je met meerdere groepjes dezelfde proef uitvoert, kun je dan een meer conclusies trekken?

In dit practicum is alleen de opdracht gegeven. De wijze waarop leerlingen de data verzamelen en dus zorgen voor betrouwbare metingen, is niet gegeven. Op basis van de verkregen data kun je drie conclusies trekken: De massa beïnvloedt de periode niet, de slingerlengte beïnvloedt de periode wel, de nauwkeurigheid van de metingen verschilt en er is dus een 'beste' manier om betrouwbare metingen te verzamelen. Tevens kan er aandacht besteed worden aan '*prediction bias*'¹ door leerlingen van te voren een voorspelling te laten maken.

Practicum:

Onderzoeksvraag:

Hoe hangt de periode van een slinger af van de massa aan de slinger?

Opdracht:

Bepaal hoe de trillingstijd van een slinger af hangt van de massa.

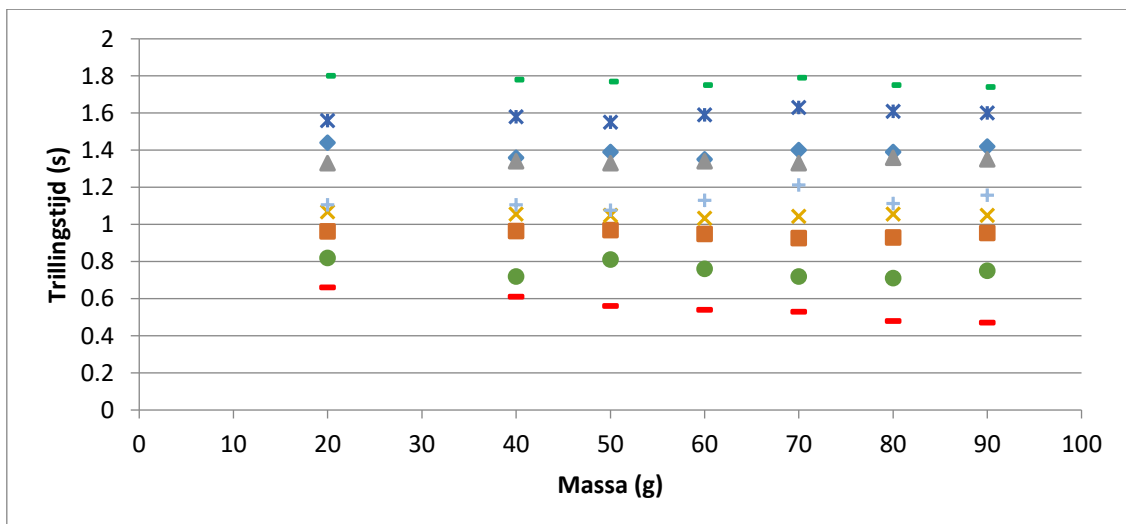
Voer daartoe de volgende opdrachten uit:

Teken welke verband je verwacht.

Verzamel metingen bij een vaste lengte.

Deel je metingen op het bord.

Uitkomst:



Discussie vragen:

- Welke conclusies kun je trekken?
- Wat weet je over de meetonzekerheid in de metingen?

Practicum 3: Het bekertjespracticum (naar een idee van Stuart Farmer²)

Het herhalen van een meting en het bepalen van de relatieve meetonzekerheid.

Idee:

Leerlingen hebben vaak moeite met het inzien waarom een meting herhaald moet worden. Dit practicum illustreert op zeer eenvoudige wijze de variatie die een meting met zich mee brengt. Zie voor een gedetailleerdere beschrijving van het idee NVOX³ of WND-DBK-2016.

Practicum:

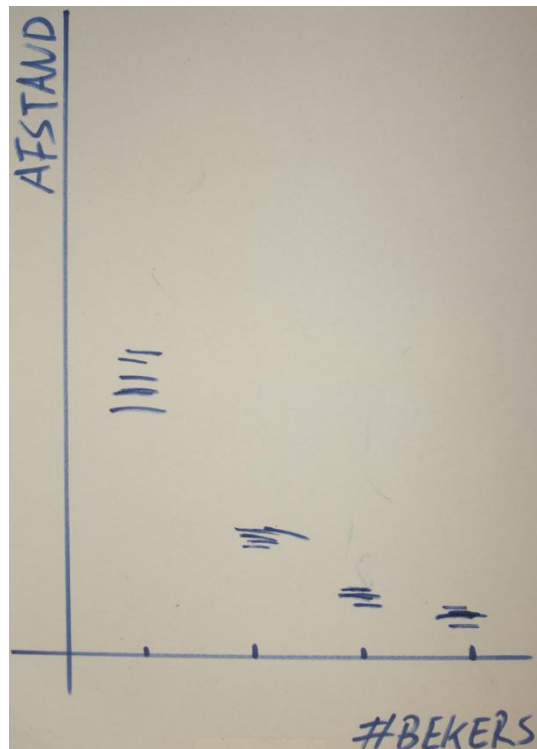
Onderzoeksvraag:

Hoe hangt de afstand die het bekertje verplaatst af van het aantal bekertjes waar de knikker in rolt?

Opdracht:

Laat de knikker via de helling in het bekertje rollen. Zet waar het bekertje terecht komt een streep. Herhaal de proef een aantal maal en verschuif het bekertje vervolgens naar positie 2 en herhaal de procedure voor twee bekertjes.

Uitkomst:



Discussie vragen:

- Wat is de 'echte' waarde die hoort bij 1 bekertje? Bestaat er een 'echte' waarde?
- Waarom herhaal je de proef een aantal keer?
- Wat voor verband zie je tussen het aantal bekertjes en de afstand?
- Komt jouw grafiek overeen met die van je burens? Waarin zitten de verschillen/overeenkomsten?

Vervolg les:

In de vervolg les wordt aandacht besteed aan het weergeven van meetonzekerheid in een grafiek. De maximale en minimale waarde geef je aan met een horizontaal streepje. De gemiddelde waarde met een stip. Daarna volgt er een maat voor de absolute meetonzekerheid (niet officieel) en hoe de relatieve meetonzekerheid bepaald kan worden. Leerlingen moeten dit vervolgens uitrekenen voor de situatie van het bekertjespracticum (relatieve meetonzekerheid blijft redelijk constant).

Practicum 4: De dichtheid van water

Introductie tot significante cijfers

Idee:

Significante cijfers geven aan hoe nauwkeurig je in staat geweest bent om een waarde te bepalen. Om een constante te bepalen moet je rekening houden met hoe nauwkeurig je hebt gemeten en bijvoorbeeld ook met de relatieve meetonzekerheid. In dit practicum kunnen leerlingen wat ze hebben geleerd over relatieve meetonzekerheid toepassen om de dichtheid van water te bepalen met behulp van een niet heel nauwkeurige maatbeker.

Practicum:

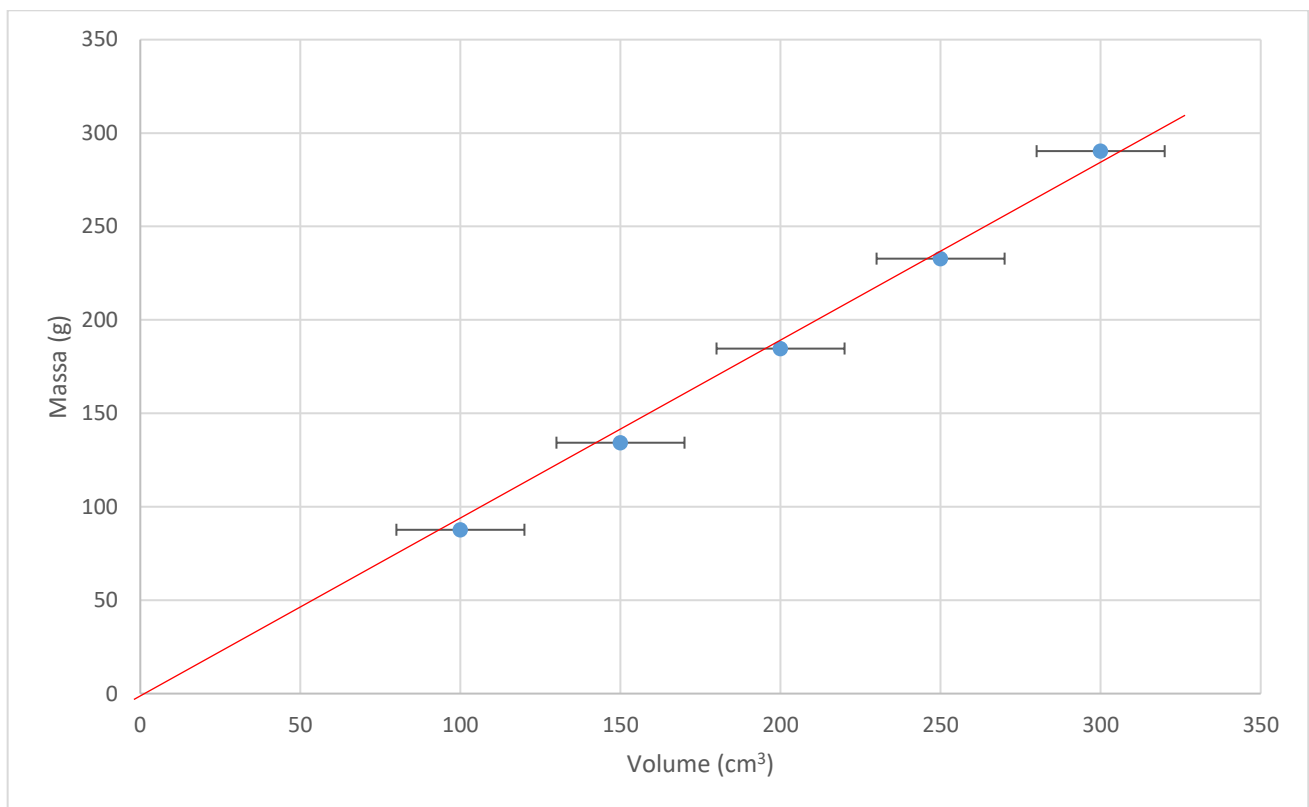
Onderzoeksdoel:

De bepaling van de dichtheid van water.

Opdracht:

Bepaal met behulp van massa en volume bepaling zo nauwkeurig de dichtheid van water.

Uitkomst:



Discussie vragen:

- Zijn je metingen hetzelfde als die van je burens?
- Hoe nauwkeurig kun je bij elke meting het volume bepalen?
- Hoe nauwkeurig kun je bij elke meting de massa bepalen?
- Wat gebeurt er met de relatieve meetonzekerheid bij grotere volumes?
- In hoeveel cijfers heb je de dichtheid van water weergegeven?

Vervolg les:

In de vervolg les krijgen de leerling uitleg over het gebruik (en regels) van significante cijfers.



Activiteit 1: Vertel eens, wat zie je? (naar een idee van Boohan⁴)

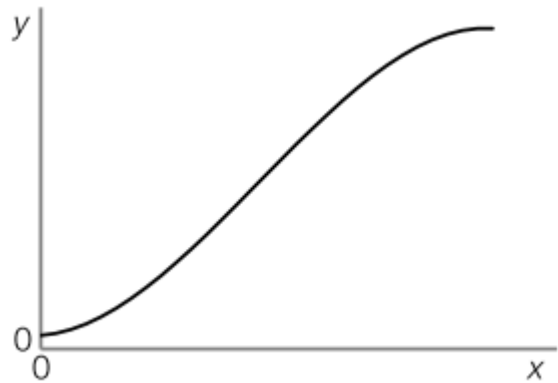
Het beschrijven van een grafiek

Idee:

Uit mijn onderzoek volgt dat leerlingen het beschrijven van een grafiek moeilijk vinden. Eigenlijk hebben ze ook geen idee wat ze over een grafiek moeten zeggen en wat de belangrijke aspecten zijn. Het gebeurt dus maar al te vaak dat in een resultaten sectie alleen een tabel en grafiek staan zonder dat er een toelichting wordt gegeven. Deze activiteit probeert leerlingen te helpen in het *zien* en beschrijven van een grafiek.

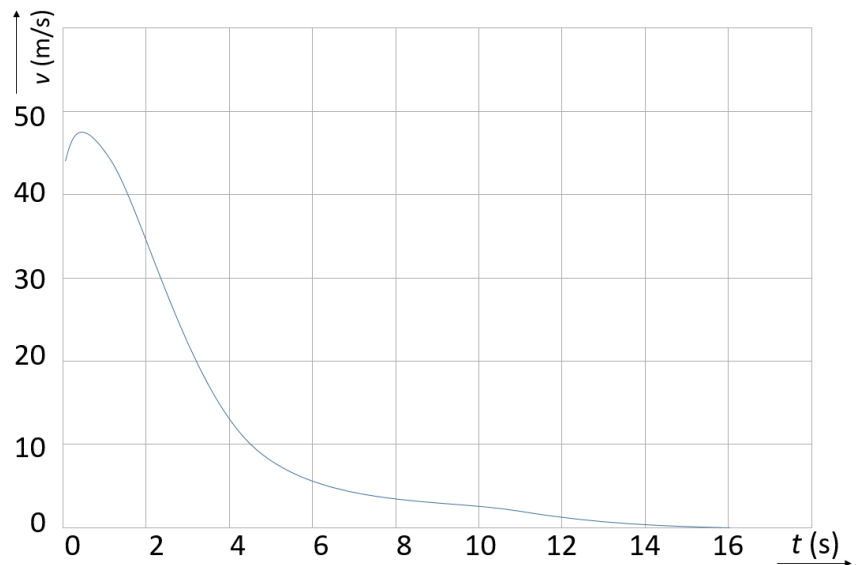
Activiteit 1:

Geef een leerling de grafiek. Laat hem/haar de grafiek beschrijven terwijl twee anderen de grafiek tekenen zonder deze gezien te hebben, dus puur op basis van de beschrijving. Laat de leerlingen vervolgens de grafieken vergelijken.



Activiteit 2:

Geef een leerling nevenstaande of soortgelijk grafiek en een bijbehorende conclusie. Laat hem/haar de grafiek beschrijven terwijl twee anderen de grafiek tekenen zonder deze gezien te hebben. Laat deze leerlingen vervolgens een conclusie trekken over de beweging die in de grafiek getoond is. Vergelijk de conclusie die zij trekken met de conclusie die gegeven is.



Practicum 5: Spiderman als fysische slinger

Het bepalen van een verband tussen twee grootheden

Idee:

In practicum 1 is gesteld dat de kracht van wetenschap is dat er een precieze relatie bepaald kan worden tussen twee grootheden en dat je daarmee voorspellingen kunt doen. Maar hoe bepaal je dan zo'n relatie? Wat heb je daarvoor nodig? Welke wiskundige stappen moet je doorlopen?

Dit practicum begint met het bekijken van een scene waarin Spiderman door de stad slingert. Om een goed verband te vinden moeten voldoende data van goede kwaliteit verzameld worden. Leerlingen moeten eerst bedenken wat ze precies gaan doen, hoe ze metingen gaan verzamelen en verwerken. Dit wordt centraal besproken zodat aan de eerste volwaarde voldaan wordt. Na het verzamelen van de data en het voorspellen van de periode van een slinger van $l = 5,0$ m wordt deze meting gedaan in het trappengat (ter controle van de voorspelling).

Zie ook bijlage 3 voor het werkblad.

Practicum:

Onderzoeksvraag:

Kan het voortbewegen van Spiderman door de stad vergeleken worden met de beweging van een fysische slinger.

Opdracht 1:

De periode van een slinger hangt af van de lengte van de slinger. Op basis van de metingen die je in deze proef doet, moet je voorspellen wat de periode van een slinger met een lengte van 5,0 m is.

- Wat heb je nodig voor een goede voorspelling?
- Hoe verzamel je de benodigde gegevens?
- Hoe verwerk je de gegevens zodat je een voorspelling kunt maken?

Beantwoord eerst bovenstaande vragen voordat je de metingen gaat verzamelen!

Na bepaling van periode van slinger met $l = 5,0$ m

Discussie vragen:

- Hoe ver zat je met je schatting naast het juiste antwoord? Geef als absoluut getal en als percentage
- Klopt het verband wat je voorspeld had? Had je een ander verband kunnen kiezen?
- Welke extra meting zou je nu doen om een betere voorspelling te doen?
- Kun je op basis van deze nieuwe gegevens iets zeggen over het slingeren van Spiderman?

Vervolg les:

De les daarna krijgen leerlingen uitleg over het vinden van een (wiskundig) verband tussen twee grootheden m.b.v. coördinaat transformatie. Hierbij wijken we af van de officiële methode (m.b.v. een diagram). Kijk eerst naar wat er met y gebeurt als x in waarde verdubbelt. De vijf verschillende verbanden worden behandeld.

Activiteit 2: 2 – 4 – 6

Het stellen van een hypothese

Idee:

Een natuurkundige relatie houdt stand tot er een tegenbewijs is gevonden. Of anders gezegd: je kunt nooit 100% zeker weten dat een theorie altijd en overal geldig is. Een hypothese moet je dan ook niet positief stellen maar proberen de te bewijzen stelling onderuit te halen. Je kunt immers de relatie nooit bevestigen, hoogstens ontkrachten (We are trying to prove ourselves wrong as quickly as possible, because only in that way can we find progress, Feynman). Deze oefening, overgenomen uit Taleb's boek De zwarte zwaan⁵, laat leerlingen hier mee oefenen.

Activiteit:

Achter de getallen serie (2-4-6) gaat een regel schuil. Vind de achterliggende regel (oplopende getallen) door een serie van drie getallen te geven. Je krijg als antwoord ja als antwoord als je serie aan de regel voldoet en nee wanneer dit niet zo is.

Discussie vragen:

- Waarom heb je gekozen voor die serie?
- Wat leerde je er van als het antwoord ja was?
- Was het beter om een andere serie te gebruiken?

Activiteit 3: Wat gebeurt hier?

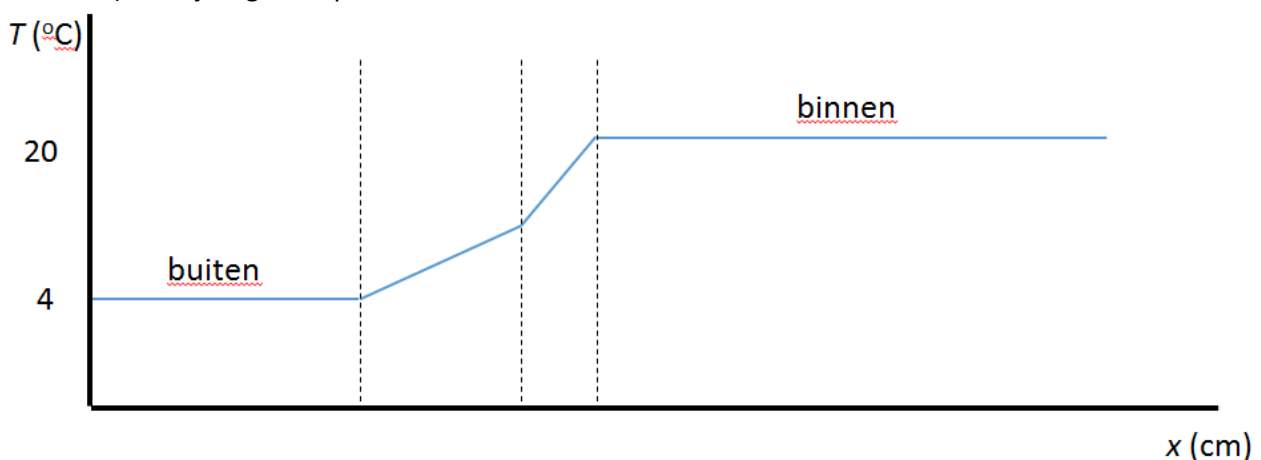
Het opstellen van een onderzoeksvraag (naar een idee van Bernard La Riviere⁶)

Idee:

Het stellen van een goede onderzoeksvraag is moeilijk. Voor het niveau van onze leerlingen is het waarschijnlijk voldoende om het volgende te stellen: Een onderzoeksvraag moet open, specifiek en onderzoekbaar zijn.

Activiteit:

Laat de leerlingen de nevenstaande grafiek zien en laat hen een onderzoeksvraag stellen (en digitaal inleveren) die bij de grafiek past.



Vervolg:

Alle leerlingen hebben een persoonlijk commentaar gehad op de onderzoeksvraag die ze stelden waarbij vermeld is waaraan de onderzoeksvraag moet voldoen, of dit het geval is en tips hoe ze de onderzoeksvraag kunnen herformuleren zodat deze nog beter is.

Activiteit 4: Toulmin

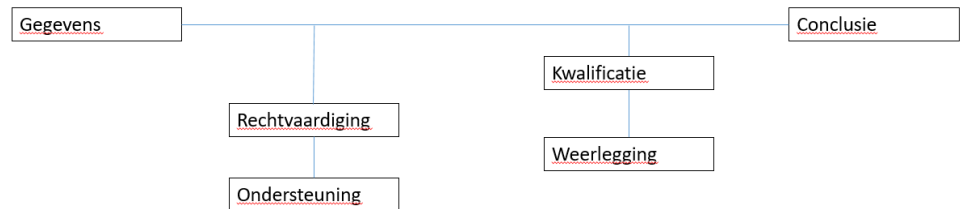
Het leggen van een relatie tussen gegevens en conclusie

Idee:

Je hebt data verzameld en wilt vervolgens een conclusie trekken. Hoe is dan een verbinding mogelijk tussen de data en de conclusie? Hoe formuleer je die conclusie en zorg je er voor dat je niet te veel of te weinig zegt... Toulmin⁷ heeft een model ontwikkeld om een argument te structureren. Dit model kan eenvoudig geïntroduceerd worden om te demonstreren hoe een conclusie opgebouwd kan worden.

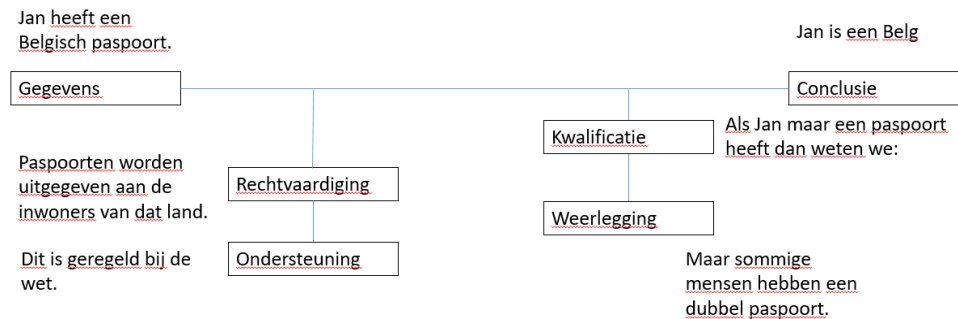
Activiteit:

Introduceer het Toulmin model, zie figuur, en geef een korte toelichting op elk onderdeel.



Deel daarna de conclusie: 'Jan is een Belg' en vraag wanneer leerlingen overtuigd zouden zijn van deze conclusie. Laat ze onderling discussiëren.

Loop daarna nogmaals het model van Toulmin door maar dan ingevuld voor deze case.



Laat leerlingen daarna oefenen met het formuleren van een

conclusie van bijvoorbeeld de slingerproef. (bijvoorbeeld: Met behulp van de slingerproef, uitgevoerd op locatie X op tijdstip Y, is de zwaartekrachtsversnelling opgesteld op $9,8 \text{ m/s}^2$ met een meetonzekerheid van $0,2 \text{ m/s}^2$)

Activiteit 5: Grafiek analyse

Het maken en bekijken van grafieken

Idee:

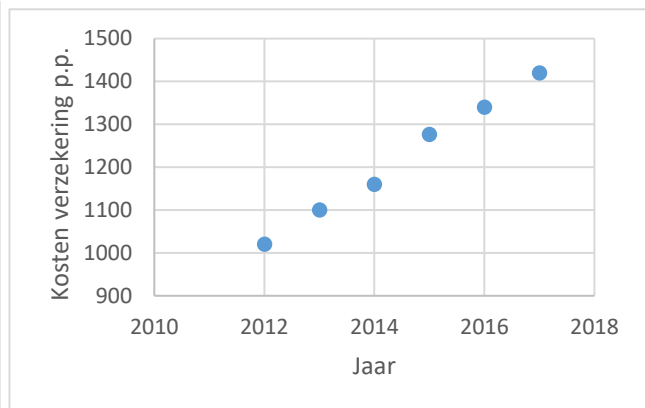
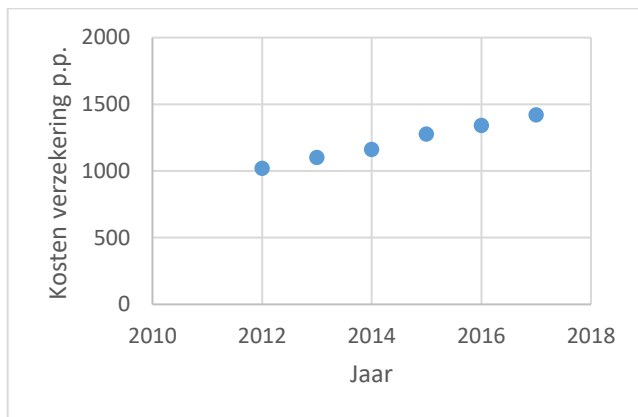
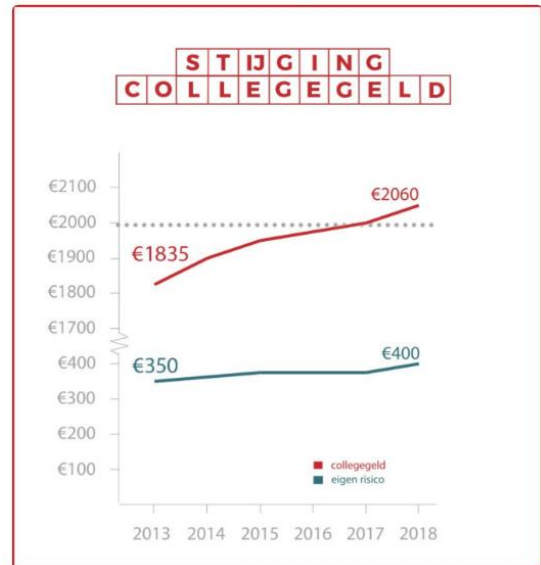
Waar moet je naar kijken als je data analyseert? Hoe moet je een grafiek eerlijk weergeven. Een grafiek waarbij de gekozen range veel groter is dan het bereik van de waarden kan een vertekend beeld geven en daarmee een andere conclusie opleveren, zie het voorbeeld.

Activiteit:

Toon onderstaande twee grafieken. Vraag leerlingen naar verschillen tussen de twee grafieken. En eventueel een bijbehorende conclusie.

Besprek daarna met hen de regels die gelden bij het opstellen van grafieken en het weergeven van data in een grafiek.

Veel terecht protest tegen hoog eigen risico, maar het collegegeld stijgt nog veel harder. Tijd voor een [#onderwijskabinet!](#)



Activiteit: Voorspellen van waarden

Het gevaar van interpoleren en extrapoleren

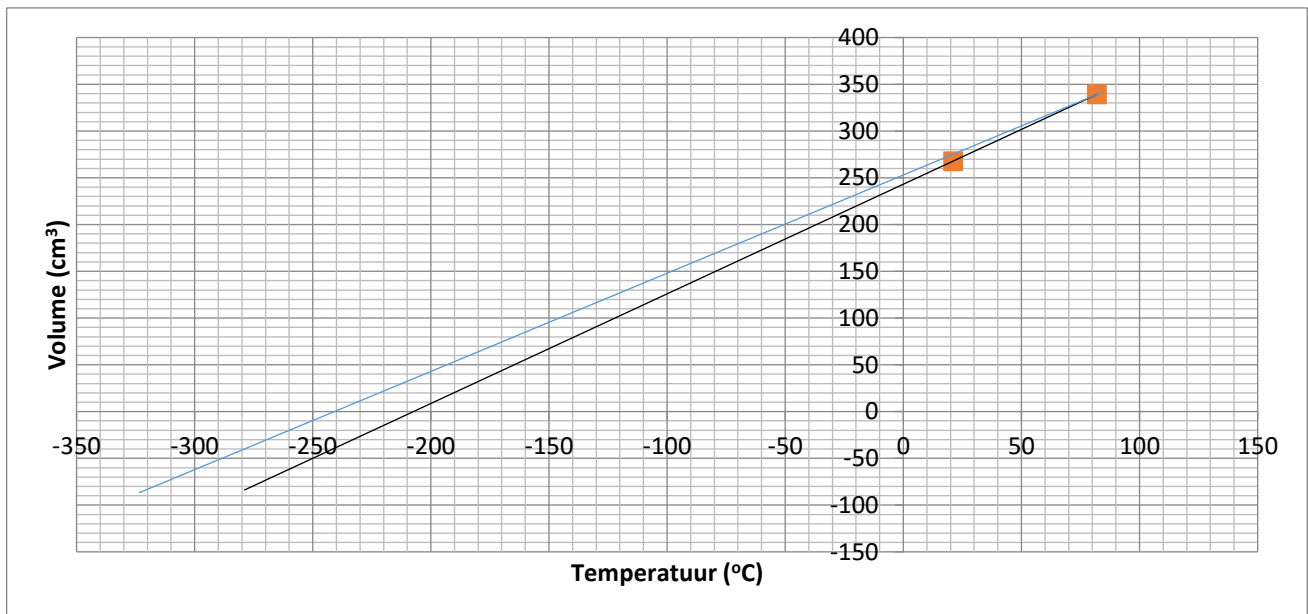
Idee:

Interpoleren en extrapoleren wordt vaak gezien als een wiskundige handeling. Maar op het moment dat je het fenomeen vergeet waar je een voorspelling voor doet, brengt dit grote risico's met zich mee bijvoorbeeld op de beurs (Zie voor heel veel voorbeeld wederom het boek van Taleb).

Activiteit:

Zet een erlenmeyer met bekend volume (meten m.b.v. water gaat prima) rechtop in een warm bad (circa 80°C). Zorg er voordat de lucht in de erlenmeyer dezelfde temperatuur krijgt. Zet vervolgens de erlenmeyer op de kop in een bak met koud tot lauw water (kamertemperatuur gaat prima). De fles zuigt water op. Haal de fles uit het water (hand op de uitgang). Bereken het volume lucht in de erlenmeyer en zet de twee meetpunten in een grafiek. Laat excel de trendlijn bepalen en bepaal het absolute nulpunt.

Laat zien dat er een hefboomwerking is en dat een kleine verandering in de punten (blauwe lijn) behoorlijk doorwerkt. Geef vervolgens andere voorbeelden waar extrapoleren kan, maar 'risico's' met zich mee brengt (veer waar je aan gaat hangen, of een kalkoen die vertrouwen krijgt in zijn baas omdat hij elke dag om 9uur gevoerd wordt. Na drie jaar op 24 december wordt dat vertrouwen behoorlijk geschaad...⁸)



Ga door met de vraag of interpoleren een zelfde probleem met zich mee kan brengen. Geef het verhaal van de opbrengst van zonnecellen op een mooie, wolkeloze, zomerse septemberdag in California. Geef een grafiek met een aantal punten (soort Gauss kromme) en vraag leerlingen te voorspellen wat de opbrengst is om 10:30. (ontken schaduw van gebouwen, wolken etc).

Verwijs uiteindelijk weer naar Toulmin. Conclusies kun je alleen baseren op hetgeen je gemeten hebt en onder de voorwaarden dat er geen onverwachte gebeurtenissen zijn.

Drop in California's Solar Power Output (MW)



Practicum: De energie van een pinda

Een bijna open onderzoek

Idee:

Nu veel aspecten van onderzoeken zijn behandeld is het tijd om leerlingen aan de slag te laten gaan. Wat weten ze al wel/niet? Zijn ze in staat om een methode te bedenken die past bij de onderzoeksvraag? Hoe houden ze zelf rekening met meetonzekerheid? Welke technieken passen ze toe om een betere conclusie te trekken? M.a.w. hoe ver zijn ze gevorderd in het volbrengen van een eigen onderzoek.

Geef de leerlingen eenvoudig een ongepelde pinda en de onderstaande onderzoeksopdracht.

Practicum:

Onderzoeksopdracht:

Bepaal hoeveel energie er zit in een pinda.

Practicum: Kraters op de maan

Een open onderzoek

Idee:

Nu veel aspecten van onderzoeken zijn behandeld is het tijd om leerlingen aan de slag te laten gaan. Wat weten ze al wel/niet? Zijn ze in staat om een methode te bedenken die past bij de onderzoeksvraag? Hoe houden ze zelf rekening met meetonzekerheid? Welke technieken passen ze toe om een betere conclusie te trekken? M.a.w. hoe ver zijn ze gevorderd in het volbrengen van een eigen onderzoek.

Geef de leerlingen een bak met bloem en een (verschillende) knikker(s) en de onderstaande onderzoeksopdracht.

Practicum:

Onderzoeksopdracht:

De kraters op de maan zijn goed te zien. De kraters zijn veroorzaakt door botsingen van meteorieten met het oppervlak van de maan. Dit kan gesimuleerd worden door een knikker te laten vallen in een bak met bloem. De knikker is de meteoriet en het bloem het oppervlak van de maan. Laat een knikker in de bloem vallen. Bestudeer goed wat er gebeurt. Stel vervolgens een onderzoeksvraag en beantwoord deze met behulp van een experiment.

- 1 Mynatt, C. R., Doherty, M. E., & Tweney, R. D. (1977). *Confirmation bias in a simulated research environment: An experimental study of scientific inference*. *The quarterly journal of experimental psychology*, 29(1), 85-95.
- 2 Stuart Farmer; *Real graphs from real data: Experiencing the Concepts of Measurement and Uncertainty*; *School Science Review*; n346 p81-84 Sep 2012
- 3 Freek Pols; Een grafiek zegt meer dan 1000 woorden; *NVOX* nr 2, 2016
- 4 Boohan, R. (2016). *The Language of Mathematics in Science: A Guide for Teachers of 11–16 Science*: Hatfield: Association for Science Education. www.ase.org.uk/resources/maths-in-science.
- 5 Taleb, N. N. (2007). *The Black Swan: The Impact of the highly improbable*
- 6 Bernard La Riviere, opdracht gedeeld op vaksteunpunt Natuurkunde, oktober 2017
- 7 Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument*: Cambridge university press.
- 8 Russell, B. <https://mashimo.wordpress.com/2013/03/12/bertrand-russells-inductivist-turkey/>