

Een leerlijn onderzoeken en natuurkundige practica

Freek Pols

c.f.j.pols@tudelft.nl

In dit document vind je aanwijzingen voor het opzetten van een leerlijn onderzoeken d.m.v. practica en praktische activiteiten. Het materiaal is vrij te delen, niet bestemd voor commerciële doeleinden. Heb je zelf leuke ideeën, opmerkingen of aanvullingen, dan hoor ik dat graag.

Freek Pols

fpols@hotmail.com

Freek Pols is natuurkunde docent verbonden aan het ISW 's-Gravenzande. Tevens is hij onderzoeker aan de TU Delft waar hij onderzoek doet naar het verbeteren van de data-analyse vaardigheden die bij practica een rol spelen.

“Dat had je gedacht – leren denken in de natuurkunde”

Alhoewel we geboren worden als onderzoekers, we stoppen immers alles in onze mond om te ervaren/onderzoeken of het eetbaar is en later wat voor textuur het object precies heeft, bezitten we niet automatisch de kennis en ervaring die nodig is om een onderzoek systematisch en nauwkeurig uit te voeren. Toch verwachten we van leerlingen die de bovenbouw binnen komen dat ze een zelfstandig onderzoek kunnen uitvoeren of heel snel leren om dat te doen. Immers, het profielwerkstuk is een proeve van bekwaamheid en die start bij sommige scholen al aan het eind van HAVO 4 of in VWO 5. Hoe kunnen we leerlingen leren onderzoeken zonder dat dit veel extra tijd kost en we afbreuk moeten plegen aan het bestaande curriculum? Wat zijn dan de vaardigheden die ze echt moeten leren? Hoe leren we leerlingen nadenken over meetonzekerheid, het herhalen van een meting, maar ook het trekken van een valide conclusie? Een conclusie die niet alleen het voor de hand liggende vermeldt maar waar ook niet meer geclaimd wordt dan door de verkregen data ondersteund wordt? Met andere woorden: hoe kunnen we leerlingen bij het uitvoeren van een practicum leren denken als een natuurkundige?

In een 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 plaats vindt. De onderstaande opzet is goed geschikt voor het VWO. 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 de discussie of er een ‘echte’ waarde (voor een meting) bestaat, voor de HAVO-leerlingen te abstract.

In de tweede bijlage is de presentatie voor 4 VWO opgenomen. Dit als extra hulpmiddel voor docenten die gebruik willen maken van de ontwikkelde onderzoekslijn. Niet alle practica en opdrachten zijn zelfverzonnen, waar mogelijk is verwezen naar de bedenker. De tweede serie practica zijn verbonden aan het onderwerp stoffen en materialen zodat dat SE onderwerp ook gedekt is.

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:

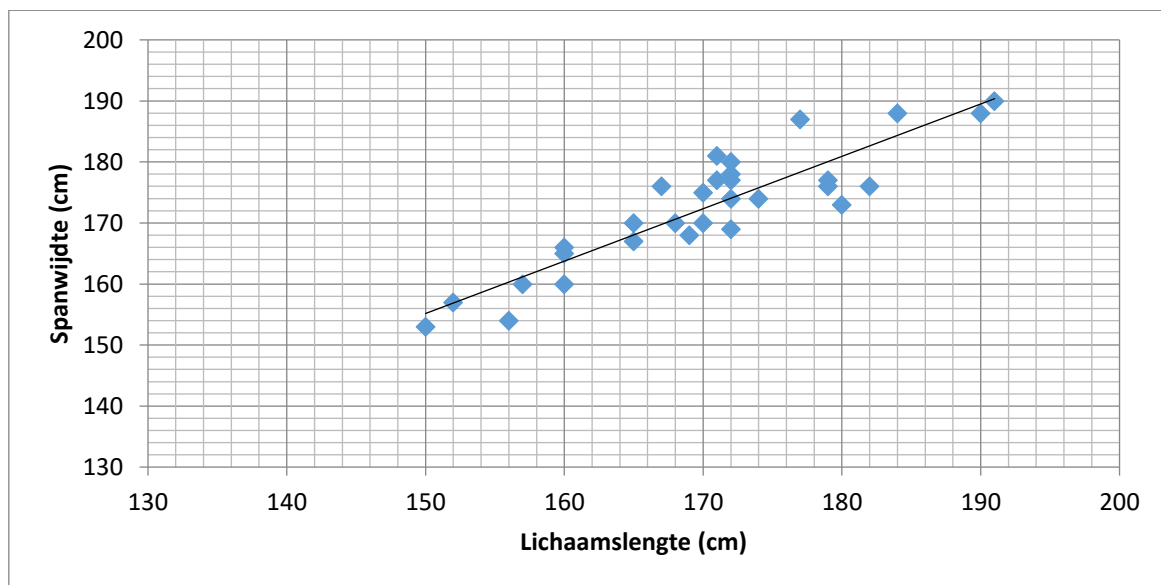
Onderzoeksvraag:

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.

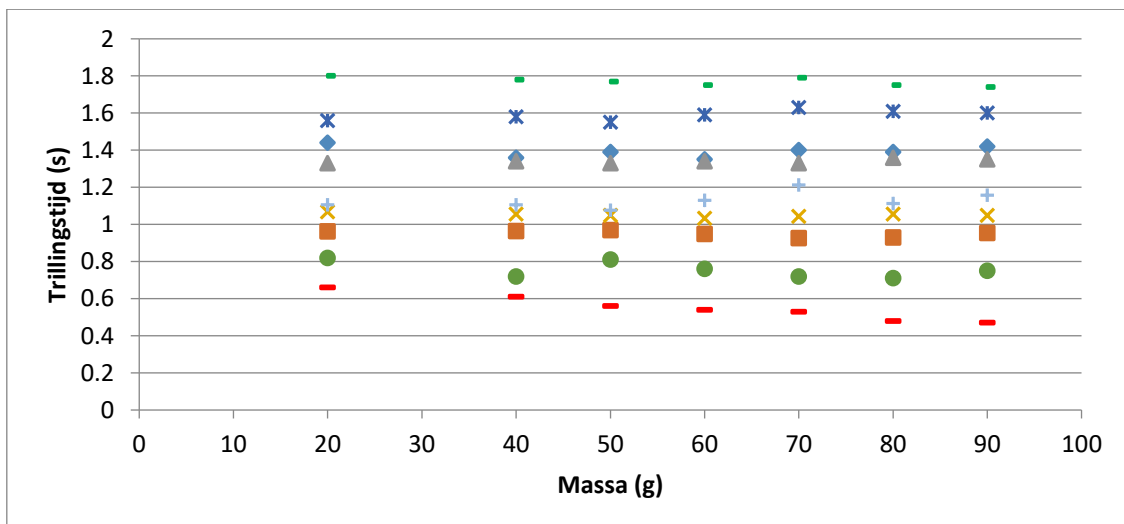
Voer daartoe de volgende opdrachten uit:

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:

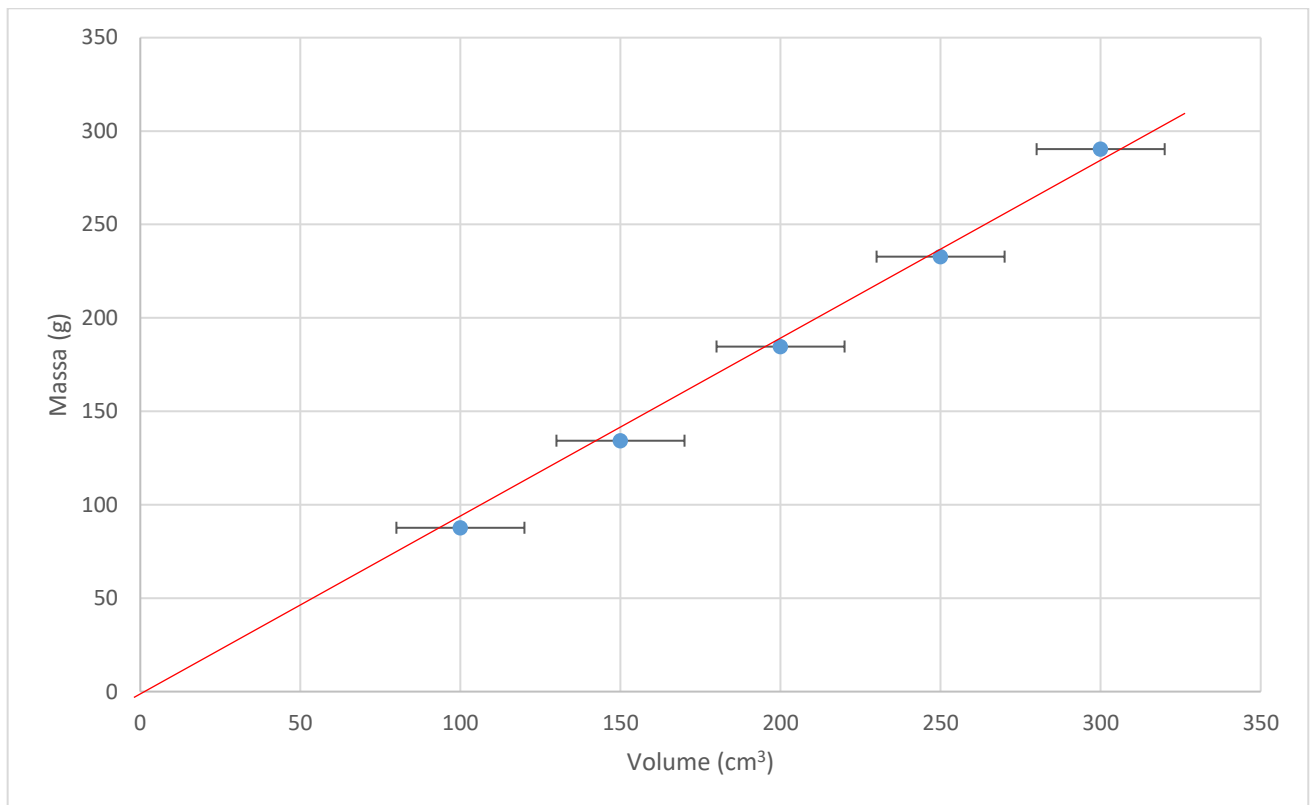
Onderzoeksdoel:

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)

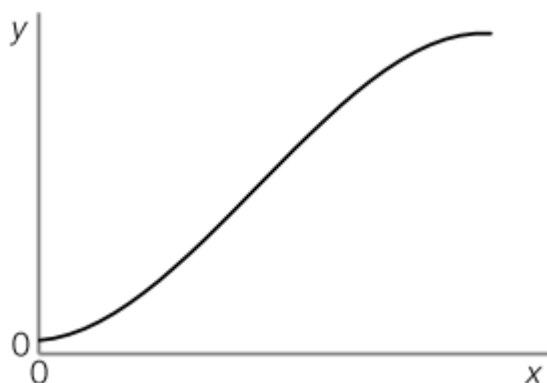
Het beschrijven van een grafiek

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.

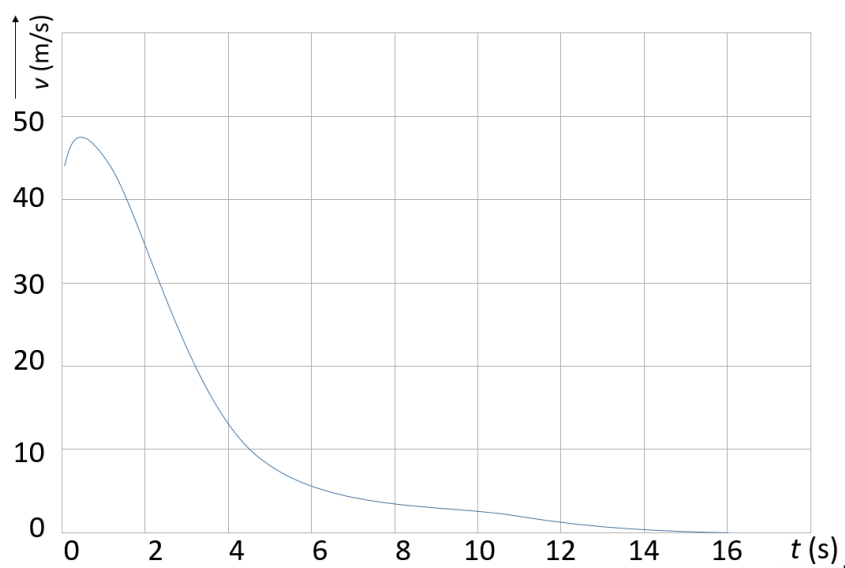
Activiteit 1:

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 naastaande 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?

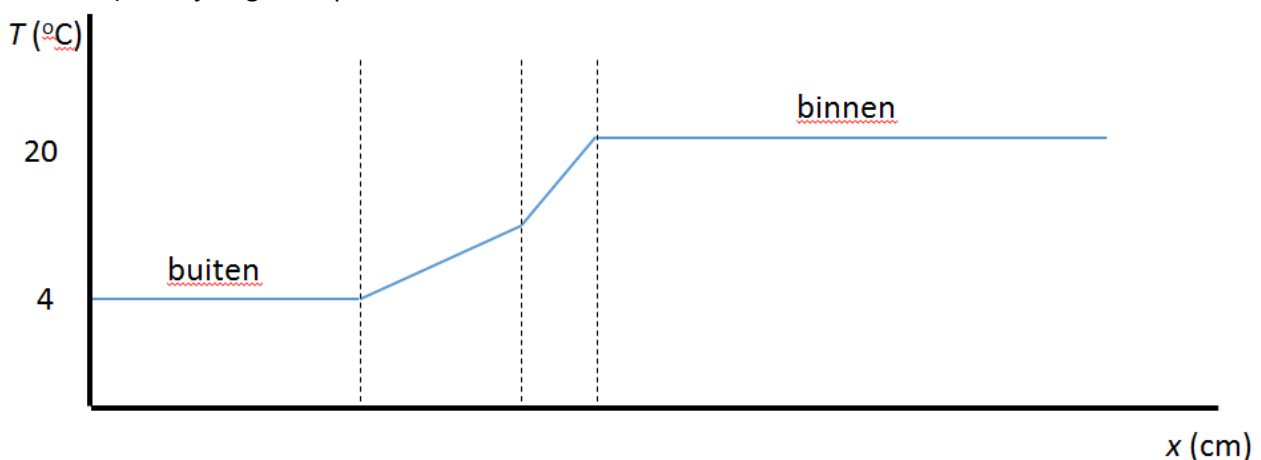
Het opstellen van een onderzoeksvraag (naar een idee van Bernard La Riviere⁶)

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

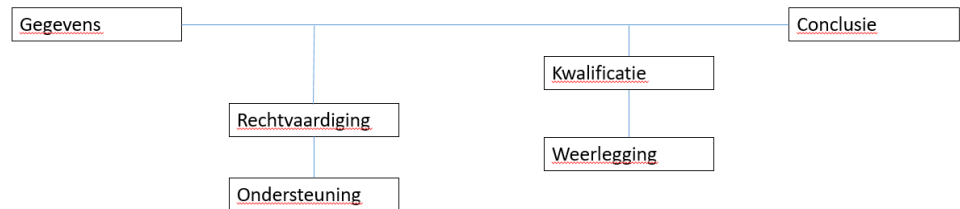
Het leggen van een relatie tussen gegevens en conclusie

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.

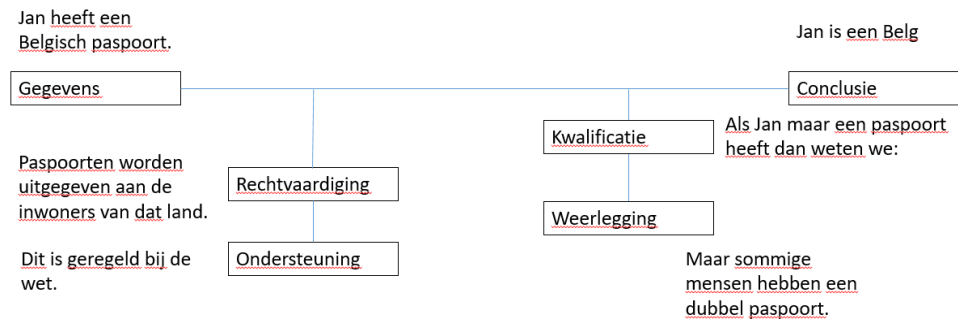
Activiteit:

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:

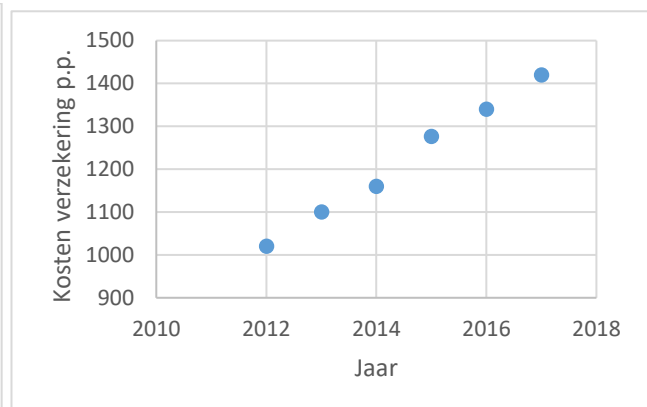
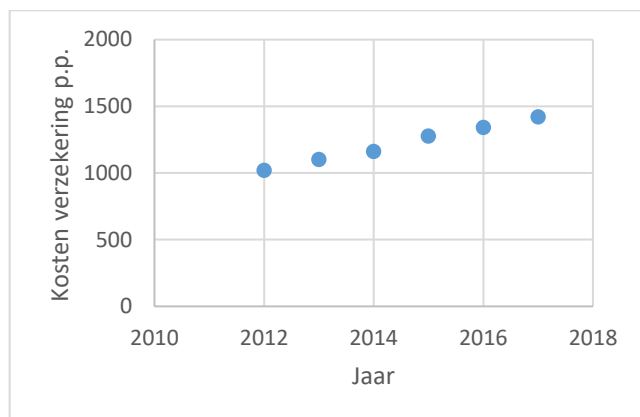
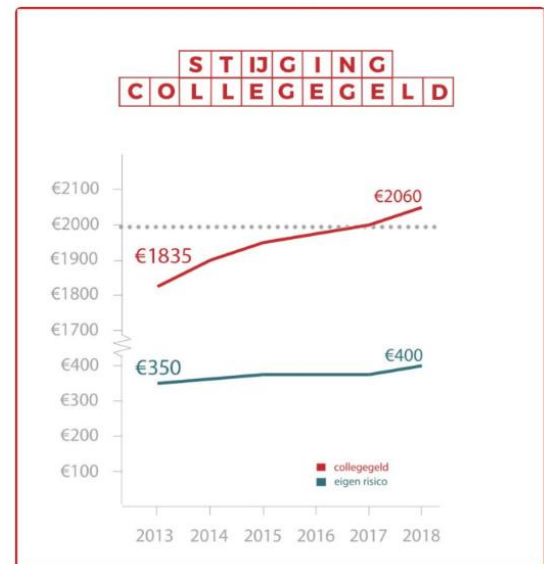
Waar moet je naar kijken als je data analyseert? Hoe moet je een grafiek eerlijk weergeven. Een grafiek waarbij de gekozen range veel groter is dan het bereik van de waarden kan een vertekend beeld geven en daarmee een andere conclusie opleveren, zie het voorbeeld.

Activiteit:

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

Bespreek 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

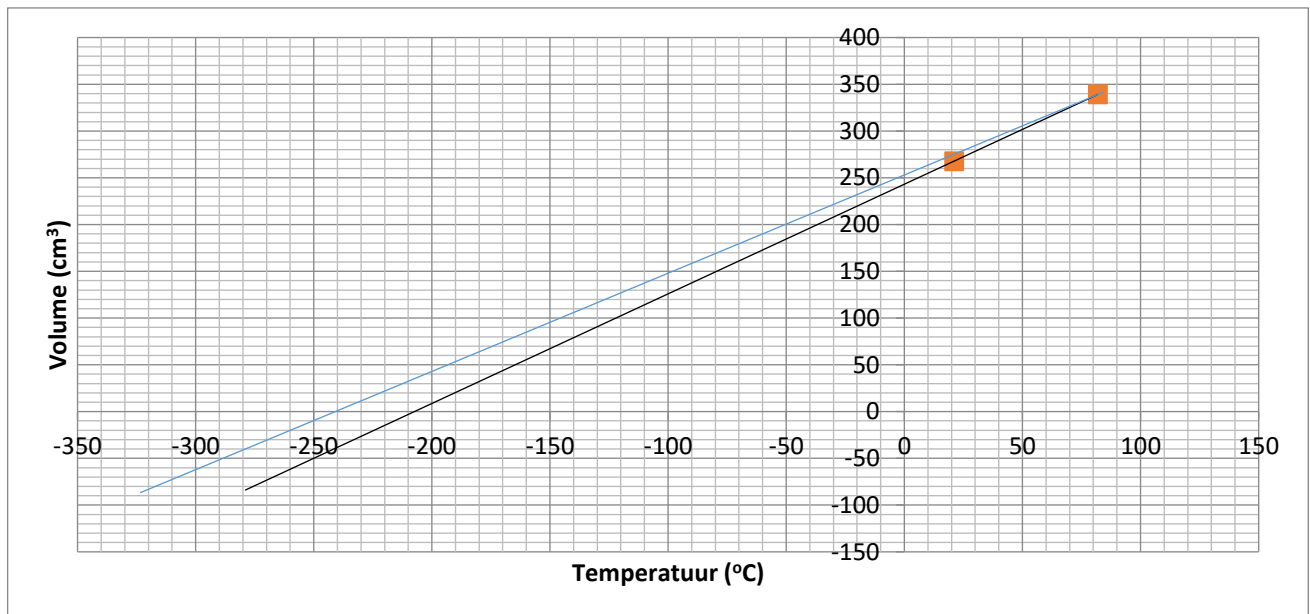
Idee:

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/>

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 lesuren.

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

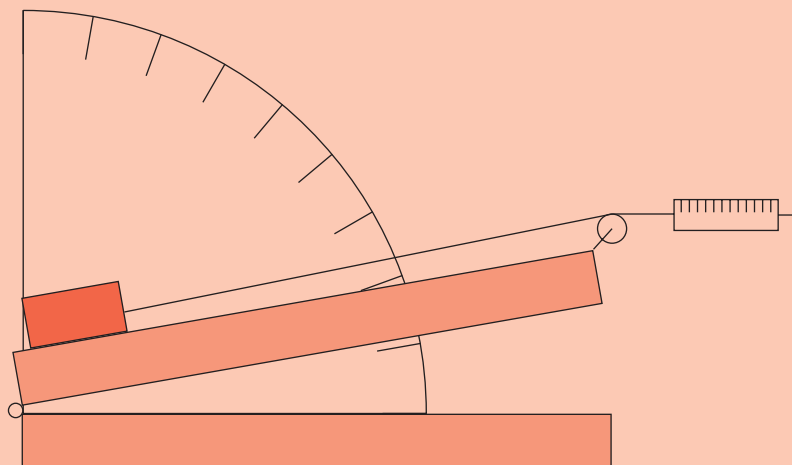
en de wrijvingscoëfficiënt volgens:
 $F = m \cdot g \cdot (f \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha))$ en een maximale veilige hoek van: $\tan(\alpha) = f$.
 Leerlingen hebben het practicum zelfstandig gedaan zonder verdere aanwijzingen over hoe ze de metingen moesten uitvoeren en waar op te letten. Ik verwachtte 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)

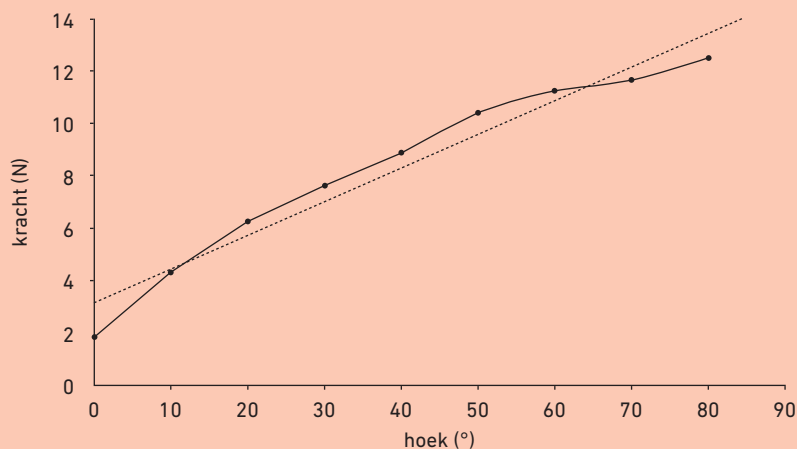
Nadat de leerlingen hun werk presenteerden, heb ik een presentatie gegeven beginnend met het uitwerken van de theorie en de verwachtingen. Pas daarna heb ik de meetresultaten getoond en antwoord gegeven op de onderzoeksvragen. Mijn advies was om ver onder de kritische hoek van 11° te blijven in verband 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

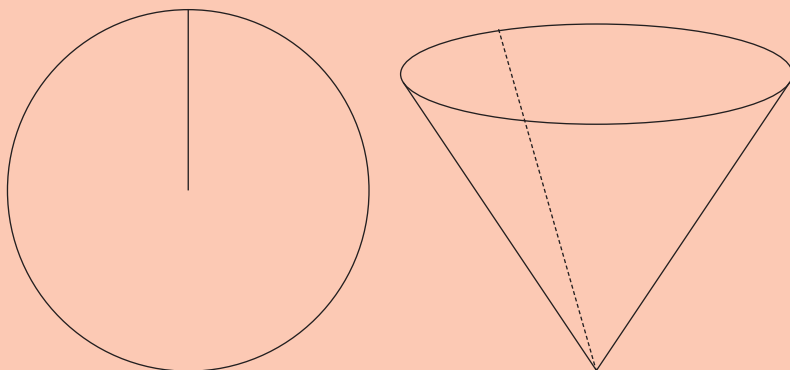
Voor het veilig laten terugkeren van astronauten doen de leerlingen



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 onderzoekspacticum [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 aanbrengen 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-precisiweegschaal 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-analysis*. 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/rfT_UiWPRYo.
- 6 <https://youtu.be/gYUZTTLpDtk>.
- 7 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).

De hellingproef

Een practicum over het ontbinden van krachten in componenten

Het ontbinden van krachten is en blijft moeilijk voor leerlingen in de vierde klas en vraagt veel oefening. Het liefst laten we leerlingen steeds op een andere wijze oefenen totdat het kwartje valt. In dit practicum gaat het over het ontbinden van zwaartekracht in verschillende componenten. Het practicum is ook uit te voeren met meer focus op de onderzoekscomponent. In dit artikel de beschrijving en achtergrond van het practicum zelf.

Krachten ontbinden in componenten is een vast onderdeel van de mechanica in de natuurkunde en komt regelmatig op verschillende manieren op het eindexamen terug. Leerlingen blijven het een lastig onderwerp vinden en we zijn dus blijvend op zoek naar manieren om helder te maken hoe je krachten ontbindt en waarom dat een onderwerp van belang is. In een eerdere publicatie heb ik al eens een practicum beschreven waarbij de hellingshoek gerelateerd wordt aan de versnelling, zie Pols (2015). In dit practicum laten we de versnelling buiten beschouwing en gaat het alleen over het ontbinden van de zwaartekracht in onderling loodrechte componenten.

Natuurkundige achtergrond

Als je een kist langs een helling omhoog trekt, is daar een kracht voor nodig. Je trekt immers de kist schuin omhoog, een beetje tegen de zwaartekracht in. De x-component van de zwaartekracht is dan gelijk aan:

$F_{z,x} = F_z \cdot \sin(\alpha)$. Daarnaast moet de wrijvingskracht overwonnen worden:

$F_w = \mu \cdot F_N$. Hierin is μ de dynamische

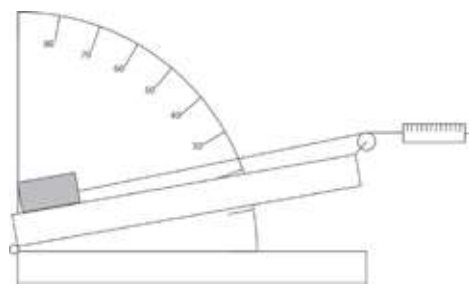
wrijvingscoëfficiënt. Als we de kist met een constante snelheid omhoog trekken, is de benodigde spierkracht gelijk aan:

$F_{spier} = F_z \cdot \sin(\alpha) + \mu \cdot F_z \cdot \cos(\alpha)$. Door deze spierkracht te meten bij verschillende hellingshoeken, kan deze relatie onderzocht en (eventueel) bevestigd worden.

Je kunt ook de dynamische wrijvingscoëfficiënt laten bepalen. Het practicum biedt dus verschillende onderzoeksmogelijkheden.

Opstelling

De opstelling bestaat uit twee houten planken die zijn verbonden met een scharnier, zie figuur 1 en 2. Aan de achterkant is een kwartcirkel bevestigd met daarop een gradenboog. Aan de bovenste plank is een metalen strip bevestigd die om de gradenboog klemt zodat de plank niet naar beneden zakt. Tevens is aan het uiteinde een katrol bevestigd zodat je een voorwerp met behulp van een unster



Figuur 1: De schematische weergave van de opstelling



Figuur 2: De daadwerkelijke opstelling

naar boven kunt trekken waarbij de veerunster evenwijdig aan het vlak gehouden wordt.

Open en gesloten

Ik heb van dit practicum twee versies gemaakt, beide verkrijgbaar door mij te mailen. De eerste versie betreft een *gesloten* practicum waarin leerlingen de gegeven relatie tussen spierkracht en hellingshoek onderzoeken. Vervolgens wordt hen gevraagd te onderzoeken of de grootte van het oppervlak van het blokje, de massa van het blokje of het soort ondergrond de relatie beïnvloedt. Dit is daarmee een begripspracticum dat focust op de relatie tussen de hellingshoek en de spierkracht.

De tweede versie betreft een *open* onderzoekspracticum met context. De leerlingen zijn onderdeel van het fictieve onderzoeks-

De Swedish Road Service (SRS) adviseert en beslist over het open stellen of afsluiten van gevaarlijke wegen in Zweden. Vooral op steilere wegen met verse sneeuw kan het gevaarlijk worden.

Een auto gaat schuiven als geldt:

$$F_w < F_{z,x}$$



Figuur 3: Een sheet gebruikt bij de introductie van het onderzoeksprobleem

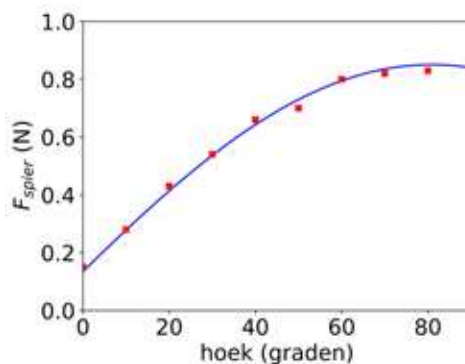
team van de *Swedish Road Service* (SRS). Na een introductiefilmpje waarin auto's van ijzige hellingen afglijden en veelal op elkaar botsen, wordt de leerlingen gevraagd advies uit te brengen over het aanleggen van een nieuwe weg door heuvelachtig gebied, zie figuur 3. De leerlingen krijgen de opdracht om de volgende drie onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Wat is, onder normale omstandigheden, de relatie tussen de motorkracht en de hellingshoek?
2. Hoe groot is, onder normale omstandigheden, de maximale hoek waarbij de wrijvingskracht groter is dan de zwaartekrachtscomponent in de richting van de helling?
3. Welke andere factoren kunnen een rol spelen bij de veiligheid van deze wegen?

Het onderzoeksteam moet een advies voor de SRS (gespeeld door medeleerlingen) schrijven, presenteren en verdedigen.

Meetresultaten

De meetresultaten in figuur 4 zijn verkregen door de proef zelf uit te voeren. Het houten blokje, met een massa van 86 gram, is met een constante snelheid omhoog getrokken. De gebruikte dynamometer had een bereik van 1,0 N. De blauwe lijn is de lijn volgens de theorie met een wrijvingscoëfficiënt van 0,16. De gemeten waarden komen goed overeen met het theoretische model. Bij een hoek groter dan 70 graden wijkt de wrijvingscoëfficiënt ver van de andere waarden af, waarschijnlijk door een erg kleine normaalkracht.



Figuur 4: De experimentele resultaten

Nu de dynamische wrijvingscoëfficiënt bepaald is, kunnen we ook berekenen wanneer de zwaartekrachtscomponent in de richting van de helling groter is dan de wrijvingskracht. Dit is vanaf een hoek groter dan $\tan^{-1}(\mu) = 9,1^\circ$. Dit is experimenteel te bevestigen door het blokje op de plank te leggen en het blokje een klein zetje te geven. Bij een hoek groter dan $9,1^\circ$ zal het blokje blijven schuiven (het zetje is nodig omdat anders gerekend moet worden met de iets grotere statische wrijvingscoëfficiënt).

Leerlinguitkomsten

Als je dingen open laat voor leerlingen om te ontdekken, is er een kans dat leerlingen het *niet* ontdekken. Zo bestudeerden de leerlingen in dit open onderzoek de bijbehorende theorie niet! Sommigen hadden zelfs pas na de uitleg door dat er een verband was met het hoofdstuk waarmee we bezig waren. Ook werden de bekende onderzoeksregels (verander slechts één variabele, herhaal de meting een aantal malen), vaak niet gehanteerd. In de gekozen opzet was dit geen probleem.

Dat de meetmethode die leerlingen bedacht hadden onvoldoende was om de veiligheid van autobestuurders in Zweden te waarborgen, werd helder in de presentatie en in de verdediging. Door steeds een enkele vraag te stellen over bijvoorbeeld het constant houden van de snelheid waarmee getrokken wordt, konden de conclusies verworpen worden. Zo vonden sommige leerlingen een hellingshoek van 25 graden nog acceptabel voor auto's.

Dit practicum diende dan ook als slecht voorbeeld waarna leerlingen in het tweede practicum de kans kregen om de regels wel goed te hanteren en een goed onderzoek te ontwikkelen. In een volgend artikel zal ik ingaan op het tweede practicum van deze serie. Bijzonder was dat vrijwel alles wat in dit practicum fout ging, goed ging in het tweede practicum.

De gesloten variant zal ik zeker vaker gaan gebruiken, wellicht in combinatie met de opgave 'auto uit het ijs' uit het havo-eindexamen natuurkunde 2018. ●

Bron

Pols, F. (2015). Versnelling langs een helling. *NVOX*, 40(4), 178-179.

Introductie

De Swedish Road Service (SRS) is de Zweedse variant van de ANWB. Zij moeten onder andere adviseren over het open stellen of sluiten van wegen. Omdat Zweden veelal een glooiende landschap heeft en langere tijd in het jaar sneeuw ligt op de wegen, is de kans op ongelukken extra aanwezig. Als voorzorgsmaatregel worden een aantal wegen dan ook (op advies van de SRS) afgesloten wanneer het net gesneeuwd heeft. Ook speelt de SRS een belangrijke rol bij advisering van de aanleg van nieuwe wegen.



Onderzoeksvragen

Voor de aanleg van een aantal belangrijke nieuwe wegen in een sterk glooiend deel van Zweden, is de SRS om advies gevraagd door het rijk. Zij beslissen uiteindelijk of en waar de wegen moeten komen. De vragen die gesteld zijn:

Onder normale omstandigheden, wat is de relatie tussen de te leveren motorkracht (om met constante snelheid omhoog te rijden) en de hellingshoek?

Dit heeft betrekking op de veiligheid van onder andere auto's met kleine motoren en grote vrachtwagens die de helling op moeten kunnen komen. De voortstuwende kracht moet immers groter zijn dan de teruggedrijvende kracht.

Onder normale omstandigheden, wat is de hoek waarbij de wrijvingskracht even groot is als de kracht in de richting van de helling?

Dit heeft betrekking op de veiligheid van alle auto's. Bekend is dat auto's omhoog komen wanneer de wrijvingskracht (die afhangt van de hellingshoek) minstens groter is dan de zwaartekrachtscomponent in de richting van de helling (die afhangt van de hellingshoek).

Welke andere factoren kunnen een rol spelen bij de veiligheid van deze wegen?

Niet alleen kan de steilheid van de weg van belang zijn, maar wellicht ook de breedte van de banden, de massa van de auto, slippen of rollen, profiel van de banden. Zo zijn er meerdere factoren die verschillen tussen de auto's en die dus meespelen in de advisering.

Jouw rol

Jij bent aangesteld als het hoofd van het onderzoeksteam van SRS en moet advies uitbrengen. Dat betekent dat je de onderzoeksvragen moet beantwoorden en je bevindingen moet presenteren. Omdat het gaat over een behoorlijke financiële investering en de veiligheid van mensen, is het niet voldoende om alleen je conclusies te presenteren. Je moet het kritische bestuur (die de advisering overneemt of afwijst) ervan overtuigen dat je bevindingen juist zijn. *Begin met het opstellen van minstens drie kritische vragen die je zou stellen als je in het bestuur zou zitten.* Beantwoord die vragen daarna d.m.v. je onderzoek als hoofd van het SRS onderzoeksteam.

Opdracht

Voer het onderzoek uit. Geef antwoord op de onderzoeksvragen waarbij je bij onderzoeksvraag 3 maar één van die factoren onderzoekt. Schrijf, presenteer en verdedig een advies voor de SRS.

NASA-return project

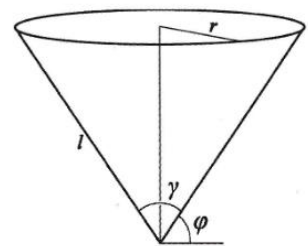
NASA doet onderzoek naar manieren om astronauten veilig, snel en goedkoop terug te laten keren naar de aarde. Daarvoor ontwikkelen ze een zogenaamde Crew Return Vehicle (CRV) waarin de astronauten plaats nemen. Aan de onderkant is een hitteschild bevestigd om er voor te zorgen dat de CRV afremt maar niet verbrandt, zie de foto hiernaast. Is de CRV voldoende dicht bij de aarde, dan kan er gebruik gemaakt worden van parachutes.



Dit hitteschild kan verschillende vormen hebben. In deze opdracht doe je praktisch onderzoek naar de factoren die invloed hebben op de snelheid van de CRV. Immers, kun je precies voorspellen hoe snel deze gaat, dan kun je met behulp van een computermodel uit rekenen waar de CRV terecht komt, op welke hoogte de parachute uit moet klappen en hoe groot de impact dan is op de astronauten.

We zijn dus op zoek naar een formule waarmee we de beweging van de CRV kunnen uitrekenen. De formule moet zo nauwkeurig mogelijk de invloed van de verschillende factoren beschrijven, het gaat om mensenlevens (en een hoop geld). Om de precieze formule te vinden, moeten alle mogelijke factoren en hun invloed op de valsnelheid onderzocht worden. Dit kan (en mag) niet in een enkel onderzoek. Dus verdeel de opdrachten over de klas. Proeven in duplo (dubbel) uitvoeren is geen probleem, je kunt dan overeenkomsten en verschillen vergelijken.

In dit experiment modelleren we de CRV met een vallende papieren kegel, zie de tekening. Met de lasersnijder kunnen we eenvoudig, snel en accuraat cirkels van diverse grootte maken die je tot kegels kunt vouwen. Laat dus op tijd weten hoe groot jouw kegels moeten zijn en hoeveel je er wilt.



Opdracht 1:

Inventariseer klassikaal welke factoren de snelheid beïnvloeden en verdeel de te onderzoeken factoren onder de groepjes (max 3 personen per groep).

Opdracht 2:

Inventariseer binnen je groepje welke regels rond goed onderzoeken je hebt geleerd aan het begin van het jaar en bij de vorige opdracht voor de SRS. Noteer deze regels (onderdeel van je verslag).

Opdracht 3:

Stel aan de hand van de opgestelde regels drie kritische vragen die je aan andere groepen kunt stellen en die gaan over de betrouwbaarheid van de uitkomsten (onderdeel van je verslag).

Opdracht 4:

Stel aan de hand van opdracht 2 en 3 een plan van aanpak op (onderdeel van je verslag). Denk goed na over de meetinstrumenten en hun nauwkeurigheid (je kunt ook videometen met je eigen telefoon).

Opdracht 5:

Lever nu, digitaal, opdracht 2 t/m 4 in. Voer het onderzoek uit.

Opdracht 6:

Schrijf een rapport voor de NASA waarin je vertelt welke factor je hebt onderzocht, hoe je dat hebt gedaan, wat daar uit komt en waarom je denkt dat jouw resultaten en conclusies betrouwbaar zijn. Geef eventuele aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Een foto of grafiek zegt meer dan 1000 woorden

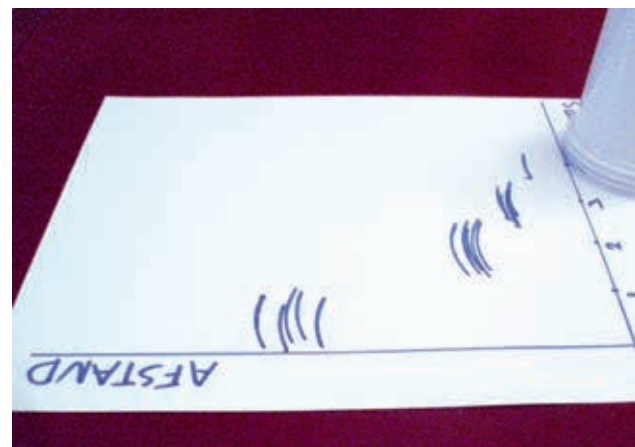
Leerlingen hebben vaak moeite om bij practica rekening te houden met meetonzekerheid. Zij zien niet in waarom een proef herhaald moet worden en waarom dit een betrouwbaarder resultaat geeft. Met deze eenvoudige meting kun je ze dit laten zien.



De meetopstelling is eenvoudig



Waar de beker stopt, zet je een streep



Met meer bekertjes ontstaat deze grafiek.

Op het Science on Stage festival kwam ik een pareltje van een proef tegen, gericht op de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden.

De proef heb ik getest in een 4 havo klas en is leuk genoeg bevonden om te delen.

De beschrijving van de proef heeft eerder ook in de *School Science Review* gestaan (Farmer, 2012).

Tijdens het practicum rolt een knikker van een helling in een op z'n kop staand plastic

Freek Pols is natuurkundeleraar aan het ISW 's-Gravenzande en doet tevens een onderzoek aan de TU Delft naar natuurkundedidactiek en met name het gebruik van practica. Daarnaast heeft hij afgelopen jaar de cursus *Getting Practical* voor het VMBO gegeven.

De proef leent zich goed voor een voorschrift waarbij foto's de uitvoering vertellen. Leerlingen hoeven dus niet veel te lezen en kunnen direct aan de slag. Ook vindt de stap van meetresultaat naar grafiek heel natuurlijk en direct plaats en gaat nu eens niet via meetinstrument naar tabel met grootheden en eenheden, en dan naar grafiek. Doordat een discussie aan het einde van de les centraal staat, hoeven leerlingen geen verslag te maken terwijl je wel weet wat de leerlingen daadwerkelijk geleerd hebben.

bekertje waarin aan de zijkant een gat is geknipt (foto uiterst links). De hellingshoek en het startpunt van de knikker zijn door de leerlingen vrij te kiezen (sommige leerlingen kwamen er al snel achter dat een grote hellingshoek niet handig is). Het bekertje verschuift vervolgens over een stuk papier, waarop een assenkruis is getekend. Waar

het bekertje eindigt, zet je een streep (foto links midden). Je herhaalt de proef een aantal keren, waarbij de verschillende streepjes duidelijk de variatie aantonen. Je zet vervolgens een tweede/derde/vierde bekertje over het eerste bekertje en schuift de bekertjes langs de x-as (foto rechts midden). Zo ontstaat

er een heel natuurlijke en directe relatie tussen de metingen en de grafiek (foto uiterst rechts). Leerlingen hoeven niet te bedenken wat de grafiek betekent; want vaak vinden ze dat moeilijk (McDermott 1986).

De vraag: “Wat heb je geleerd van deze proef?” stond centraal in de klassendiscussie na het uitvoeren van het experiment. Leerlingen kwamen al snel met de kwalitatieve conclusie dat hoe meer bekertjes er gebruikt worden, des te minder ver de bekertjes komen. Daarna heb ik gestuurd

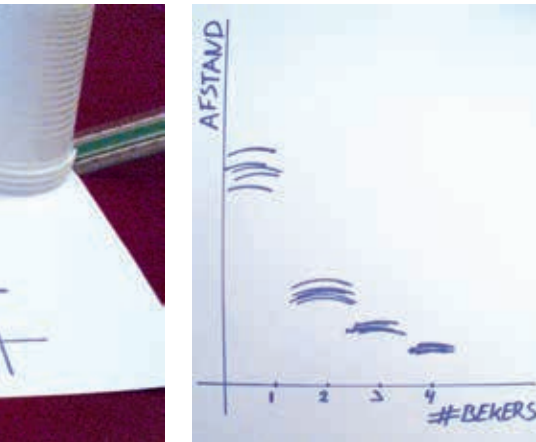
naar de vraag waarom het herhalen van metingen nodig is en waarom het logisch is dat we een gemiddelde bepalen. Ook hebben we stil gestaan bij mogelijke vervolgonderzoeken.

De onderlinge resultaten weken af door de verschillende hellingshoeken en het verschil in startafstand en vormden mogelijkheden voor vervolgonderzoek. Dit was een mooie toevoeging aan de discussie, al lag het accent op het zichtbaar maken en de betekenis van meetonzekerheid en de noodzaak van het herhalen van metingen. De gehele discussie is vraaggestuurd en na afloop van de discussie heb ik de bevindingen voor de leerlingen samengevat.

De proef is uitgevoerd aan het begin van het jaar in 4 havo. Voor hogere klassen is het ook goed mogelijk om de begrippen absolute en relatieve meetonzekerheid te behandelen. Want hoewel het duidelijk is dat de absolute meetonzekerheid afneemt, blijft de relatieve meetonzekerheid ongeveer gelijk. Het basisvoorschrift bij het practicum is te op te vragen door een mailtje te sturen naar freek.pols@nvon.nl. ●

BRONNEN

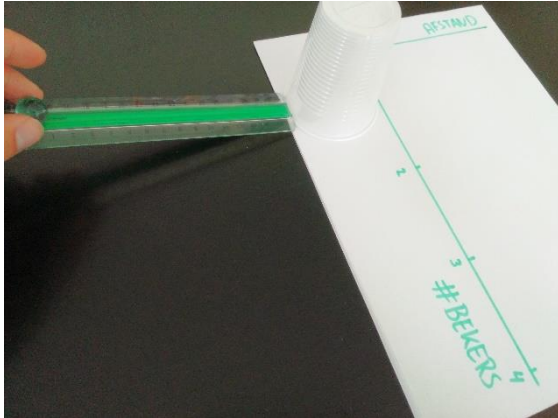
- Lunetta, V., Hofstein, A. & Clough, M. (2013). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In: Abell, S.K., Lederman, N. G. (ed.). *Handbook of research on science education*. New York/London: Routledge.
- Farmer, S. Real graphs from real data: measurement and uncertainty, *SSR* September 2012 (94).
- McDermott, L., Rosenquist, M. & Van Zee, E. (1986). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics, *American Journal of Physics*, (55).
- Van den Berg, E. & Buning, J. ‘Practicum: leren ze er wat?’, *NVOX*, juli 1994.



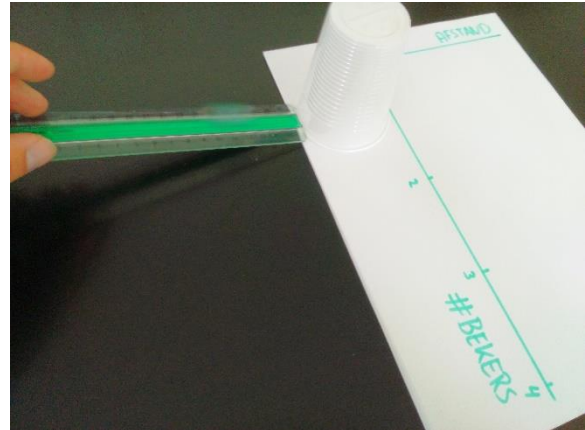
Het resultaat, stof tot discussie

Practicum Grafieken

In dit practicum maken we een grafiek door een knikker in een bekertje te laten rollen. We onderzoeken waarom het nodig is om een proef meerdere keren uit te voeren. Volg de onderstaande stappen.



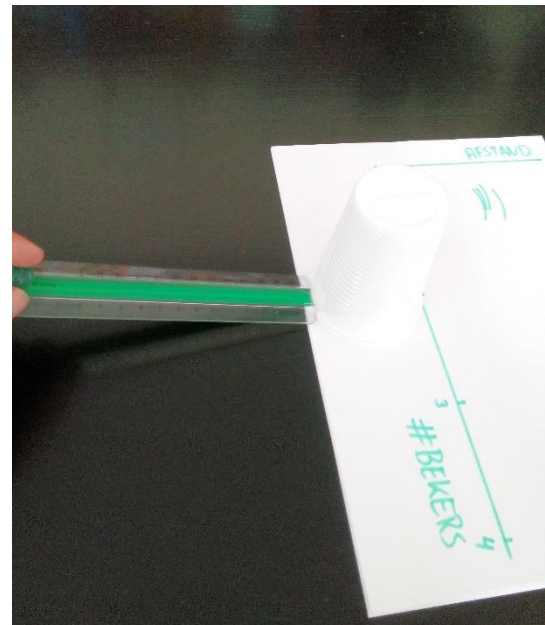
1 Maak de opstelling op de foto, bepaal zelf de hellingshoek (schrijf deze wel op!). Zet de voorkant het bekertje tegen de horizontale as. Zorg er voor dat de knikker in het gat kan rollen.



2 Laat de knikker los zodat deze langs de helling versnelt en in het bekertje rolt. Schrijf wel op, op welke afstand je de knikker hebt losgelaten.



3 Zet een streepje op het papier aan de bovenkant van het bekertje. Herhaal de proef nog vier maal.



4 Plaats een tweede bekertje boven op het eerste bekertje. Schuif de bekertjes langs de horizontale as (naar nummer 2). Herhaal stap 2 en 3 waarbij je de rolafstand steeds hetzelfde houdt. Herhaal dit voor 3 en 4 bekertjes.

- 1 Staan alle streepjes op dezelfde plaats?
- 2 Leg uit waarom je een meting meerdere keren moet uitvoeren:
.....
.....

Praktische Opdracht Condensatorsensor

Natuurkunde 4 VWO

Inleiding

Hoe gaaf is het als je je eigen sensor kunt bouwen en die kunt gebruiken voor een automatiseringsproject? Maar is dat moeilijk, een eigen sensor bouwen? Niet als je natuurkunde gebruikt. In deze p.o. (PTA: 652) ga je je eigen sensor bouwen en testen. Daarvoor maak je gebruik van twee condensatorplaten.

Theorie

De condensator (eng.: capacitor)

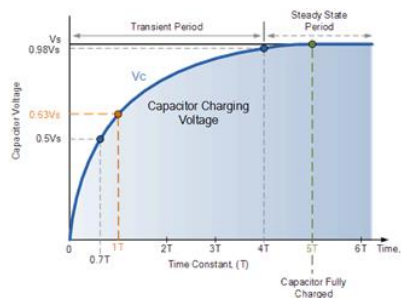
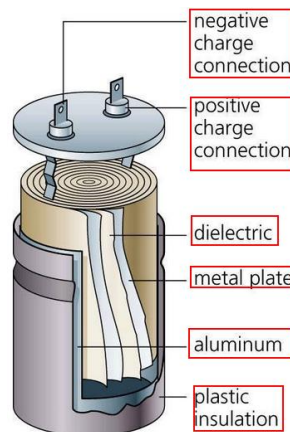
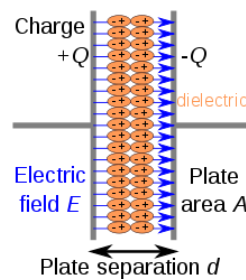
Een condensator is een elektronische component waarin je lading op kunt slaan. De condensator bestaat uit twee platen die niet met elkaar verbonden zijn. Tussen de twee platen kun je materiaal plaatsen. Dit beïnvloedt de capaciteit van de condensator: de hoeveelheid lading die je op kunt slaan. De maximale opgeslagen hoeveelheid lading wordt gegeven door: $Q = C \cdot U$. Hierin is C de capaciteit van de condensator in Farad en U de bronspanning. De spanning die je over een condensator kunt zetten is afhankelijk van de condensator zelf. Duurdere condensatoren kunnen vaak een hogere spanning aan. De capaciteit van de condensator hangt o.a. af van het oppervlak van de overlappende platen, de afstand tussen de platen en het soort materiaal tussen de platen.

De RC-tijd

Doordat je een elektrische plaat oplaadt, zal deze langzaam een tegen spanning geven. Het opladen gaat dan dus langzamer, zie de grafiek. De RC-tijd τ is daarin belangrijk. Dit is de tijd die de condensator nodig heeft om 63,2% op te laden. De Arduino (een microcontroller waar we mee gaan werken, zie opdrachten) meet wanneer bij het opladen aan deze conditie voldaan is, bepaalt de tijd die nodig was voor het opladen en berekent de capaciteit met $C = \tau / R$.

De sensor

Een sensor is een kunstmatig zintuig. Door bijvoorbeeld de afstand tussen de platen te veranderen, verander je de capaciteit. Door de condensator te ijken en daarna een meting uit te voeren kun je eenvoudig de dikte van een materiaal bepalen.



De opdrachten

- 1 Maak een afspraak bij de TOA, meneer Ebbelaar, om een introductie te krijgen over het meten van de capaciteit van een condensator met behulp van de Arduino en een verdere introductie op de p.o. Test tijdens die introductie twee condensatoren. Vergelijk de waarde die de Arduino meet met de waarde die op de condensator zelf staat. Gebruik deze twee waarden om een gevoel te krijgen voor de grootte van de meetonzekerheid van de bepaling van de capaciteit. Gebruik deze metingen ook om in je verslag te verwerken en iets te zeggen over de betrouwbaarheid van de metingen.
- 2 Stel drie kritische vragen voorafgaande aan het echte onderzoek. De drie kritische vragen moeten gericht zijn op de betrouwbaarheid en validiteit van het onderzoek. Gebruik deze drie vragen om je eigen onderzoek richting te geven en het werk van anderen te kunnen voorzien van peerfeedback. Deze vragen neem je ook op in het verslag!
- 3 Bouw je eigen condensatorsensor, bedenk vooraf wat je wilt gaan meten en wat je daarvoor nodig hebt. We hebben wat karton, papier, wc rolletjes en aluminiumfolie liggen om aan de slag te gaan. Maar heb je wat anders nodig voor de sensor, dan moet je dit zelf mee nemen!
- 4 Test je sensor en laat zien of deze werkt. Let op! Verandert de sensorwaarde niet zoals je verwacht had, of werkt de opstelling niet als sensor, geen probleem... probeer dan uit te leggen waarom het niet werkt, wat je verwacht had dat er zou moeten gebeuren, en bedenk een nieuwe manier hoe de sensor alsnog zou kunnen werken. Heb je echt geen idee van wat te meten? Vraag het dan aan meneer Ebbelaar, hij heeft een aantal mogelijkheden klaar liggen. Dit kost wel punten wat betreft creativiteit.
- 5 Schrijf het verslag waarbij je gebruikt maakt van het standaardformat, zie bijlage. Lever het verslag digitaal in bij je docent. Deze verspreid het voor peer review.
- 6 Voorzie het verslag van een ander van peer review en lever dit digitaal in bij je docent. ~~Reactie op peer feedback of veranderingen van teksten geef je dikgedrukt weer.~~
- 7 Verwerk het commentaar en lever een eindverslag in. Reactie op peer feedback of veranderingen van teksten geef je dikgedrukt weer.

Met opmerkingen [FP1]: Laat peer feedback in de kantlijn staan! Gebruik dikgedrukte tekst in het verslag om te laten zien wat er nieuw is!

Met opmerkingen [JdK2]: Moet dat niet bij punt 7?

De beoordeling

Voor de beoordeling van de p.o. gebruiken we de onderstaande rubric.

Onderdeel	Commentaar	Max. score	Score	pt
Samenvatting		5		
Inleiding		7		
Idee + uitleg achtergrond werking sensor		5		
Theorie		5		
Plan van aanpak (Uitvoering + beschrijving)		7		
Data verzameling, presentatie, verwerking, analyse		20		
Reflectie werking sensor		7		
Conclusie, discussie , aanbevelingen		15		
Peer review geven		10		
Peer review verwerken		7		
Algemeen		12		
Score		100		

Datums

Hieronder belangrijkste data:

Datum	Item deadline
17/12	Opdracht p.o. bekend
28/1	Metingen verricht
8/2	Verslag versie 1 bij docent
18/2	Verslag van peer feedback voorzien
25/2	Eindversie ingeleverd



Versnelling langs een helling

Om het ontbinden van vectoren in componenten te oefenen in klas 6 bedacht ik een practicum waarbij we de luchtkussenbaan gebruiken. Onder de luchtkussenbaan plaatsen we een stapel papier waardoor het karretje 'vanzelf' naar beneden glijdt. Met dit practicum worden meerdere doelen gedekt.

Leerlingen in klas 4 vinden het vaak moeilijk om krachten te ontbinden in componenten. In de 6^e klas vinden ze dat soms nog steeds lastig en om dit weer op te frissen bedacht ik een practicum waarbij ze zien dat een object op een helling een constante versnelling ondervindt, en dat die versnelling afhankelijk is van de (sinus van de) hellingshoek. Om deze twee doelen met één proef te dekken, zonder dat leerlingen verveeld raken omdat ze teveel metingen moeten verrichten, gebruik ik het delen van metingen met behulp van het digitale school-

bord. Onverwacht blijkt het practicum nog veel meer doelen te dekken. De proef bestaat uit twee delen, waarbij in het eerste deel de metingen verricht worden. In het tweede deel delen de leerlingen de resultaten en wordt er een klassikale, maar digitale, analyse uitgevoerd.

Deel 1

Onder de luchtkussenbaan zet je een stapel papier zodat de baan onder een kleine hoek komt te staan, zie figuur 1. Een papierstapel van 1,25 cm hoog zorgt bij ons voor een hoek

Figuur 1. De opstelling met de baan onder een hoek.

van 0,51 graden ofwel een hellingspercentage van 0,89%. Als je het karretje op de baan plaatst, zal het (bijna) wrijvingsloos naar beneden glijden met een versnelling van $8,8 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$. Om de versnelling te berekenen, bepaal je bij verschillende afstanden de tijd die het karretje nodig heeft om deze afstand af te leggen. Een tweede optie is om eerst de gemiddelde snelheid uit te rekenen en vervolgens de eindsnelheid van het karretje te berekenen ($v_{\text{gem}} \cdot 2$). Gebruik van $\Delta v / \Delta t$ levert de versnelling op. Deze aanpak omzeilt het gebruik van $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ zodat de proef ook bruikbaar is in het nieuwe eindexamenprogramma. In het gegeven voorbeeld is de versnelling op 99% nauwkeurig bepaald.

Deel 2

Elk volgend groepje leerlingen voert dezelfde metingen uit maar bij een andere hellingspercentage. Dit levert steeds een set unieke

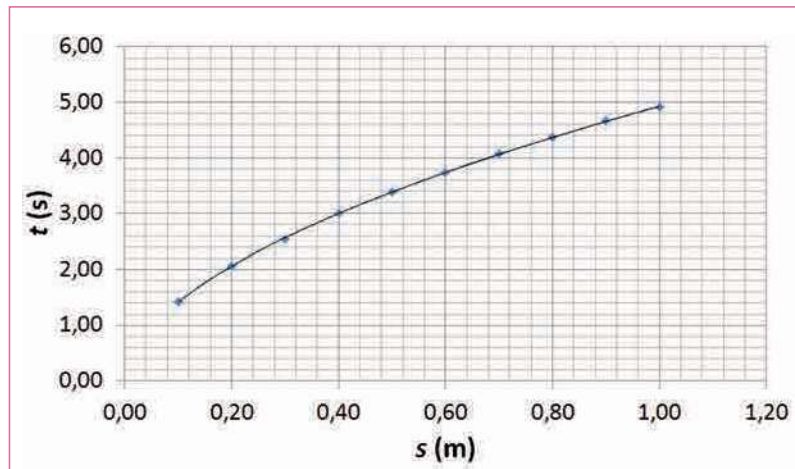
metingen op (er zijn metingen uitgevoerd tot een hellingshoek van 16° waarbij meerdere spanningsbronnen nodig waren om deze hoek te verkrijgen). De leerlingen delen de berekende versnelling van het karretje en bijbehorende hellingshoek op het digitale schoolbord. Zo ontstaat het eerste deel van diagram in figuur 3. De grafiek suggereert een recht evenredig verband tussen de versnelling a en hellingshoek α . Excel geeft een best fit van $a = 0,177 \cdot \alpha$. Is dit te verenigen met de verwachting $a = g \cdot \sin(\alpha)$? Wel als we bedenken dat voor hoeken kleiner dan 30° de sinus van de hoek vrijwel gelijk is aan $\alpha \cdot \pi / 180$. De evenredigheidsconstante uit excel komt goed overeen met de waarde $9,81 \cdot \pi / 180 = 0,171$.

In de discussie kan naar voren komen dat er al twee meetwaarden voor het uitvoeren van de proef bekend zijn: de versnelling bij een hoek van 0° en de versnelling bij een hoek van 90° . Als je dit meeneemt en de trendlijn doortrekt zie je overduidelijk dat er geen recht evenredig verband tussen hoek α en de versnelling bestaat, zie figuur 3.

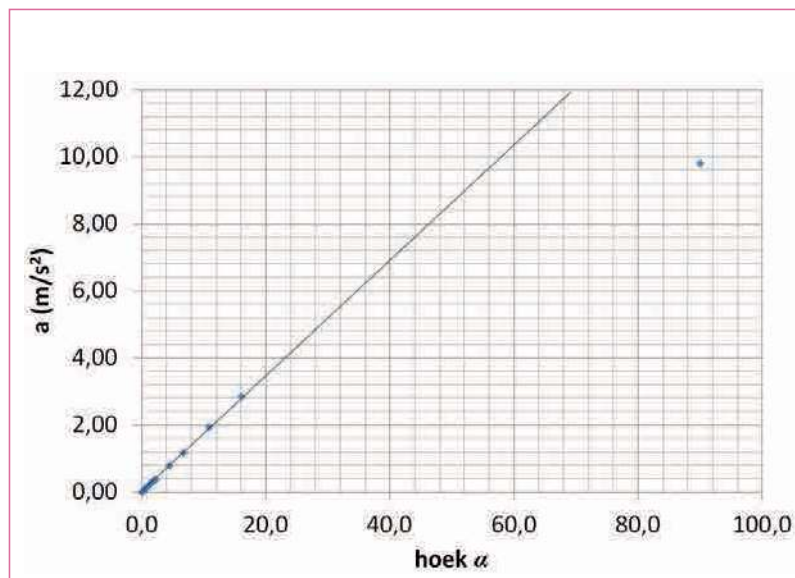
Om aan te tonen dat de versnelling gelijk is aan $g \cdot \sin(\alpha)$, kan de versnelling uitgezet worden tegen de sinus van de hoek, zie figuur 4. Een coördinaattransformatie die niet terugkomt in het eindexamenprogramma maar die met behulp van substitueren en uitleg over het idee van coördinaattransformatie gebruikt kan worden. Ik heb in 6-vwo ervaren dat gebruik van substitueren het voor leerlingen duidelijker maakt wat coördinaattransformatie is en waarom het wordt toegepast. Als de versnelling van het karretje uitgezet is tegen de sinus van de hoek, geeft Excel een mooie rechte lijn met een richtingscoëfficiënt van $9,84 \text{ m/s}^2$. Dit ligt dicht genoeg bij de valversnelling g om te bewijzen dat er voor de versnelling langs een helling geldt: $a = g \cdot \sin(\alpha)$.

Samengevat

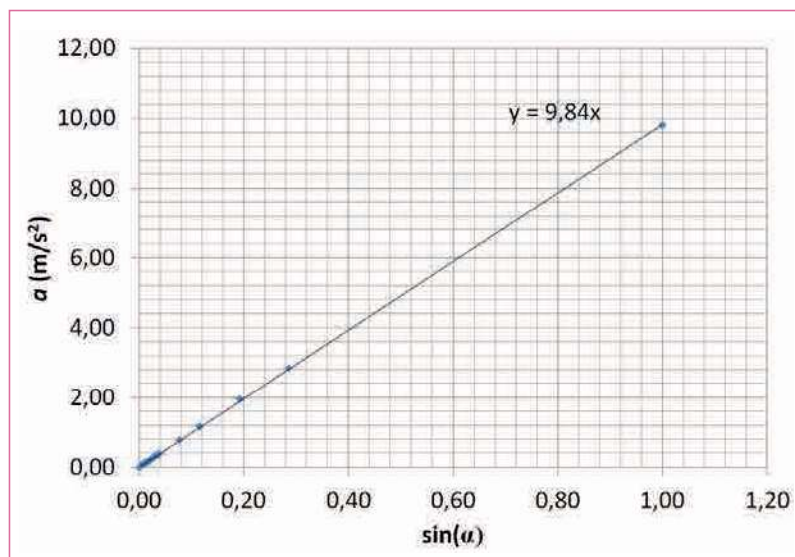
Door groepen leerlingen metingen te laten verrichten bij verschillende hellingshoeken en de resultaten vervolgens te delen, wordt er door de leerlingen kennis verworven over ontbinden van krachten in componenten. De leerlingen leren niet alleen rekenen aan een eenparig versnelde beweging, maar zien ook het gevaar van extrapoleren en oefenen nog een keer met het gebruik van coördinaattransformatie en dit allemaal binnen twee lesuren! ●



Figuur 2. De resultaten uitgezet in een grafiek.



Figuur 3. Voor kleine hoek ontstaat er een vrijwel recht evenredig verband tussen de hellingshoek en de versnelling.



Figuur 4. Wanneer je versnelling uitzet tegen de sinus van de hoek ontstaat er een recht evenredig verband waarmee je de valversnelling kunt bepalen.

Beweging in stop-motion

Een 4-vwo-activiteit

Op twitter kwam ik een leuke activiteit van natuurkundedocent Joe Cossette tegen. Zijn leerlingen moesten een stop-motionfilmpje maken van een beweging. Ik besloot dit ook in mijn 4^e klas te doen en kwam er zo achter dat dit een leuke activiteit is die op verschillende manieren gebruikt kan worden.

Een stop-motionfilm is een filmpje dat gemaakt wordt door meerdere foto's van een voorwerp te maken en deze foto's achter elkaar te plakken. De objecten worden bij elke nieuwe foto iets verplaatst waardoor het net lijkt alsof het voorwerp zelf beweegt. In de tweet van de Amerikaanse natuurkundedocent was een stop-motionfilmpje te zien van twee poppetjes die over een stuk papier bewogen. Het ene poppetje voerde een eenparige beweging uit met een snelheid van $7,0 \text{ cm/s}$, het andere poppetje bewoog met een constante versnelling van $5,5 \text{ cm/s}^2$.

Ik bedacht zeven opdrachten (zie de NVON-site) waarbij de leerlingen niet alleen de beweging moesten illustreren maar eerst ook moesten rekenen. In één van de opdrachten was de vraag wanneer de afgelegde afstanden gelijk zijn; zie kader. Het idee was dat leerlingen bij deze activiteit na moesten denken over twee verschillende bewegingen. Beide bewegingen hadden ze al wel eerder in grafieken gezien, maar de leerlingen hadden er nog niet aan hoeven rekenen. Ook had ik de bijbehorende formules en het gebruik daarvan nog niet uitgelegd. Naar mijn idee zouden leerlingen dus de boeken open moeten doen, moeten discussiëren en na moeten denken over hoe de afgelegde weg berekend kan worden. Doordat ze tegen verschillende problemen aan zouden lopen en die problemen van elkaar zouden verschillen, zou ik maatwerk kunnen bieden en elke groepje leerlingen kunnen helpen bij datgene wat ze nodig zouden hebben.

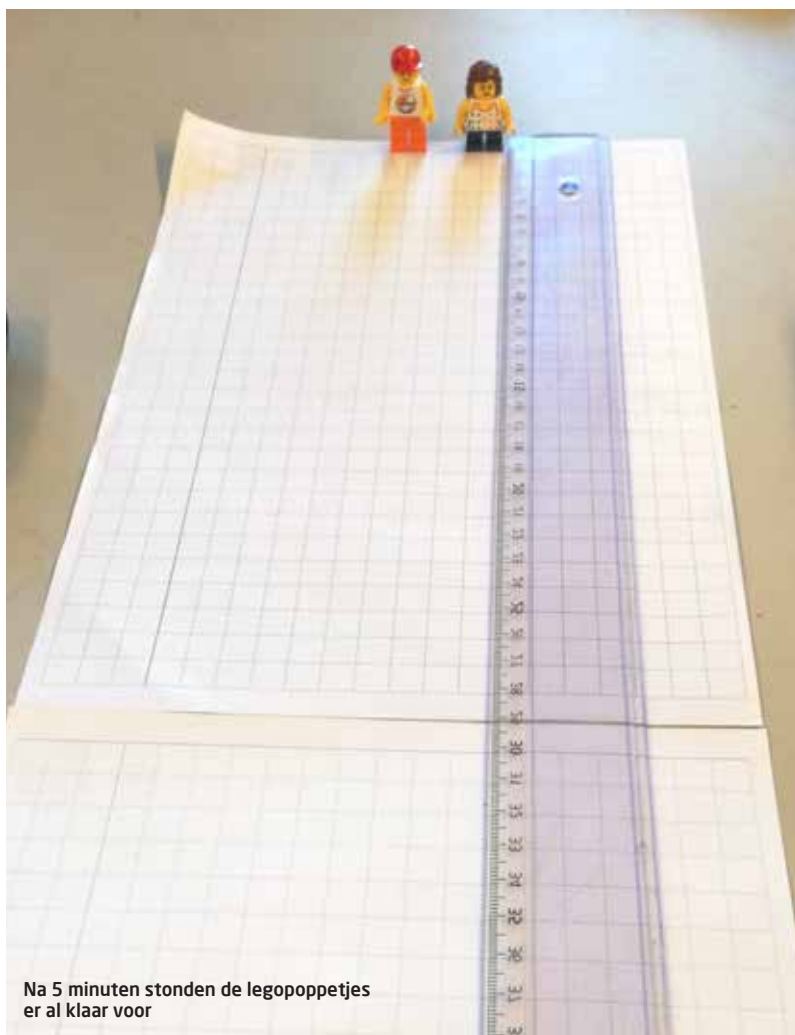
.....

Maak een stop-motionfilmpje van twee objecten waarbij:

- Object 1 een versnelling heeft van $2,5 \text{ cm/s}^2$ en start zonder beginsnelheid.
 - Object 2 een constante snelheid heeft van $5,0 \text{ cm/s}$.
 - Stop het filmpje als de twee objecten dezelfde afstand hebben afgelegd.
-

De uitvoering

Op maandagochtend stond een aantal statieven, statiefflemmen, legopoppetjes, knikkers, linialen en ruitjesblaadjes klaar. Toen de leerlingen binnen kwamen, vertelde ik de opdracht: Maak een stop-motionfilmpje van de beweging die op je blaadje beschreven staat. Werk in drietallen. Maandag inleveren. Leerlingen gingen inderdaad snel aan de slag en zochten in *Binas* de formules op, gebruikten het boek, of gingen in discussie hoe de twee bewegingen het best beschreven



Na 5 minuten stonden de legopoppetjes er al klaar voor



Een leerling zet zijn poppetjes goed voor de volgende foto

konden worden. Een aantal groepjes gebruikte al snel de grafische rekenmachine om de bewegingen te tonen in een grafiek en zo de coördinaten te bepalen. Tijdens de uitvoering gebeurden er ook onverwachte dingen. Een groepje vroeg om millimeterpapier omdat het dan eenvoudiger was de voorwerpen op de juiste plaats te zetten. Een ander groepje had commentaar op het feit dat ik een paar lampen uit had gedaan. Dit zou te zien zijn in de film en ze vroegen of ik het licht weer aan wilde doen. Ook waren er leerlingen die zowel de beweging van boven als van voren vast wilden leggen. Of die autootjes wilden gebruiken in plaats van knikkers of legopoppetjes.

Tijdens de tweede les was er al een groepje klaar. Het resultaat zag er goed uit: ze hadden autootjes gebruikt en de verschillen in de bewegingen waren duidelijk te zien. De anderen waren nog aan het rekenen, tekenen, meten, foto's aan het maken of een filmpje in elkaar aan het zetten. Aan het einde van die les had iedereen de benodigde foto's en op maandag had elke groep een filmpje ingeleverd. De resultaten zijn terug te vinden op mijn YouTube-kanaal (www.youtube.com/cfjpol).

Verbinden met modelleren

Naast dat leerlingen in deze opdracht moeten nadenken over de overeenkomsten en verschillen in beweging, deze

bewegingen vast moeten leggen en dus moeten rekenen aan de beweging, leent de opdracht zich ook als introductie op modelleren. Ten eerste is in de filmpjes duidelijk te zien dat er geldt: $x = x + v \cdot \Delta t$. Ten tweede wordt in de opdracht duidelijk dat er steeds twee stappen gedaan moeten worden (en er dus twee modelregels zijn); namelijk eerst die voor het uitrekenen van de snelheid en vervolgens die voor de afgeleg-

De objecten worden bij elke nieuwe foto iets *verplaatst*

de weg. Een laatste punt is dat leerlingen nadachten over het aantal foto's dat nodig zou zijn om de beweging nauwkeurig in beeld te brengen. Bij modelleren moet je ook denken over de stapgrootte. Een te grote stap laat de beweging niet nauwkeurig genoeg zien, een te kleine stap vraagt behoorlijk wat rekenwerk en geduld.

Al met al is het een leuke creatieve opdracht waar leerlingen veel van kunnen leren en waar je in de verschillende lessen op terug kunt grijpen. Het zal dan ook wel een vast onderdeel in mijn lessenserie gaan worden. ●

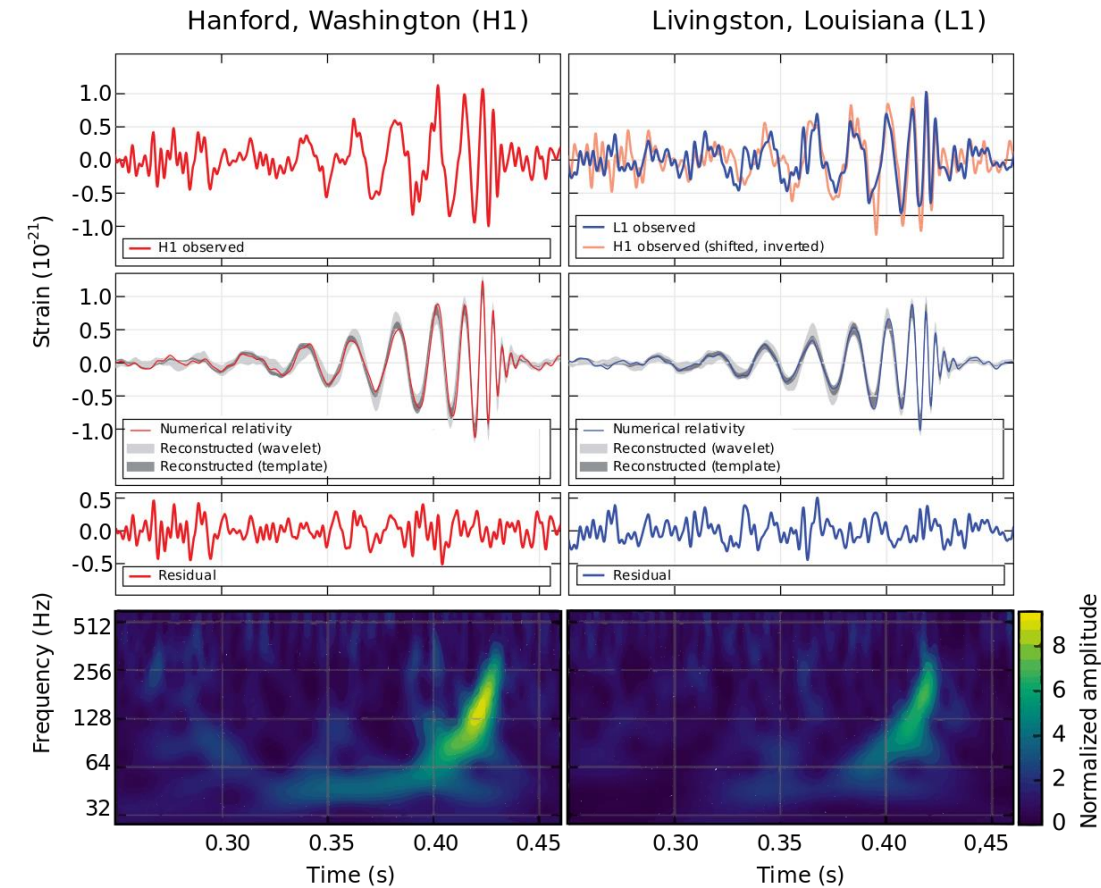
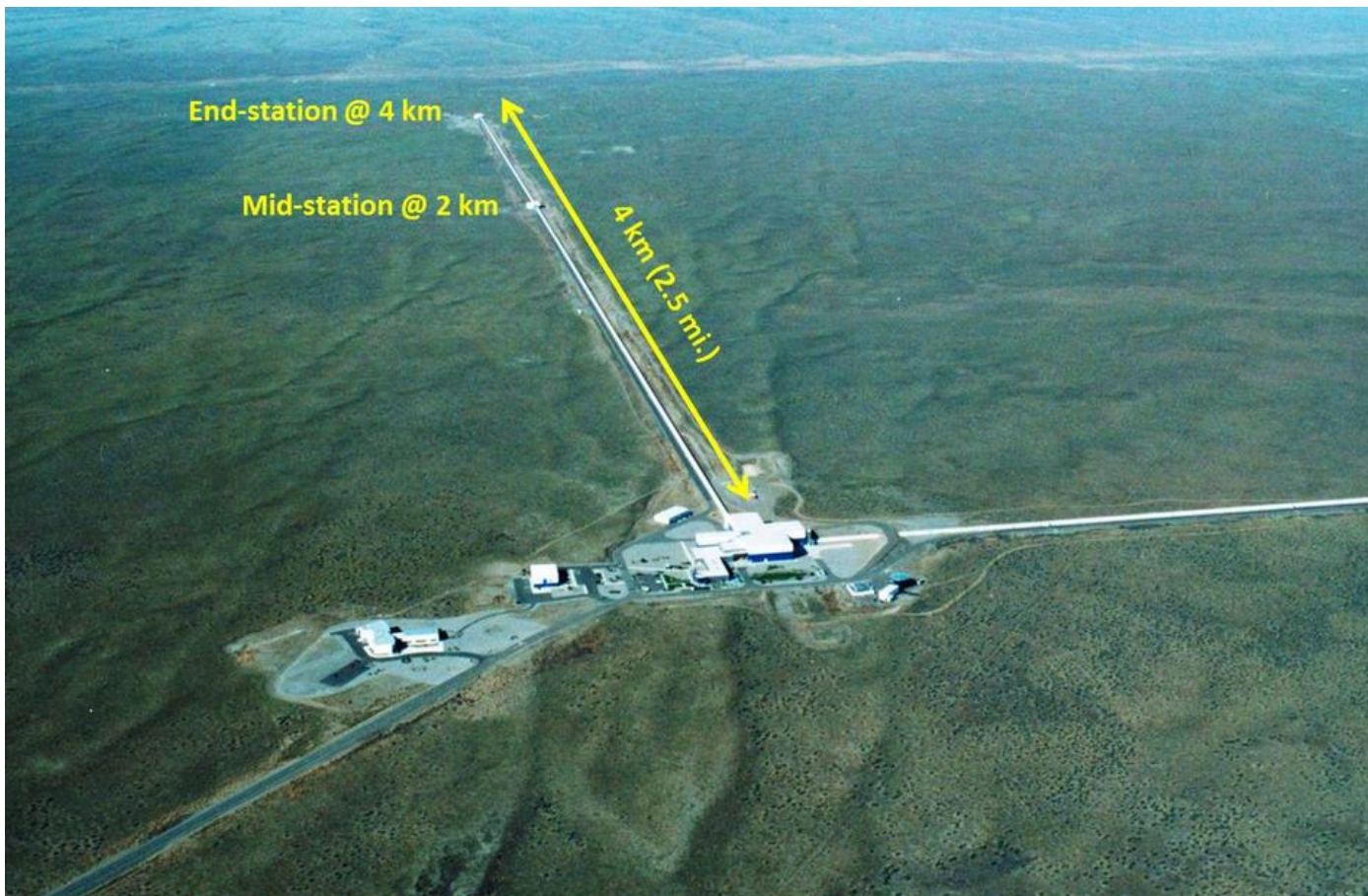
Ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden



Freek Pols

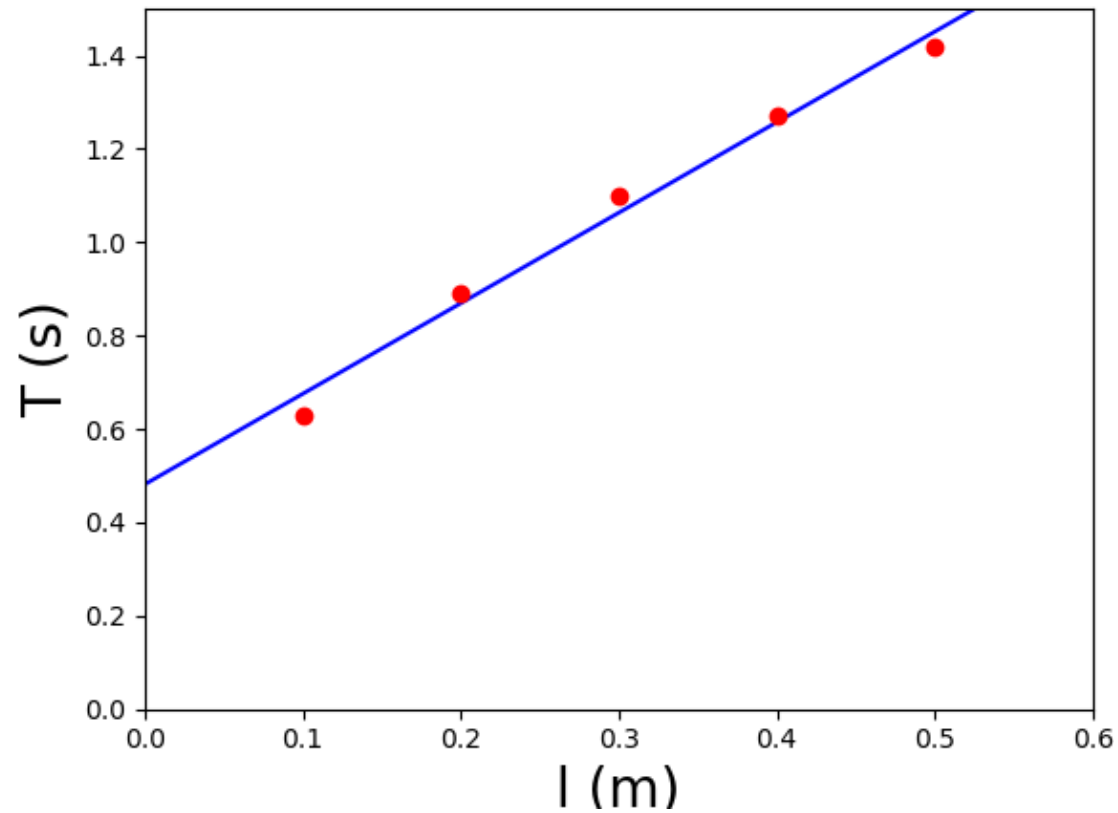
c.f.j.pols@tudelft.nl

Leren onderzoeken: Verwachtingen



Leren onderzoeken: Realiteit

Conclusie: Hoe langer de knikker rolt, hoe verder die komt.



Inhoud

- Waarom onderzoeken?
- Een onderzoeksmethode?
- Wat moeten ze leren?
- Uitgangspunten
- Een onderzoeksleerlijn

Waarom leren onderzoeken?

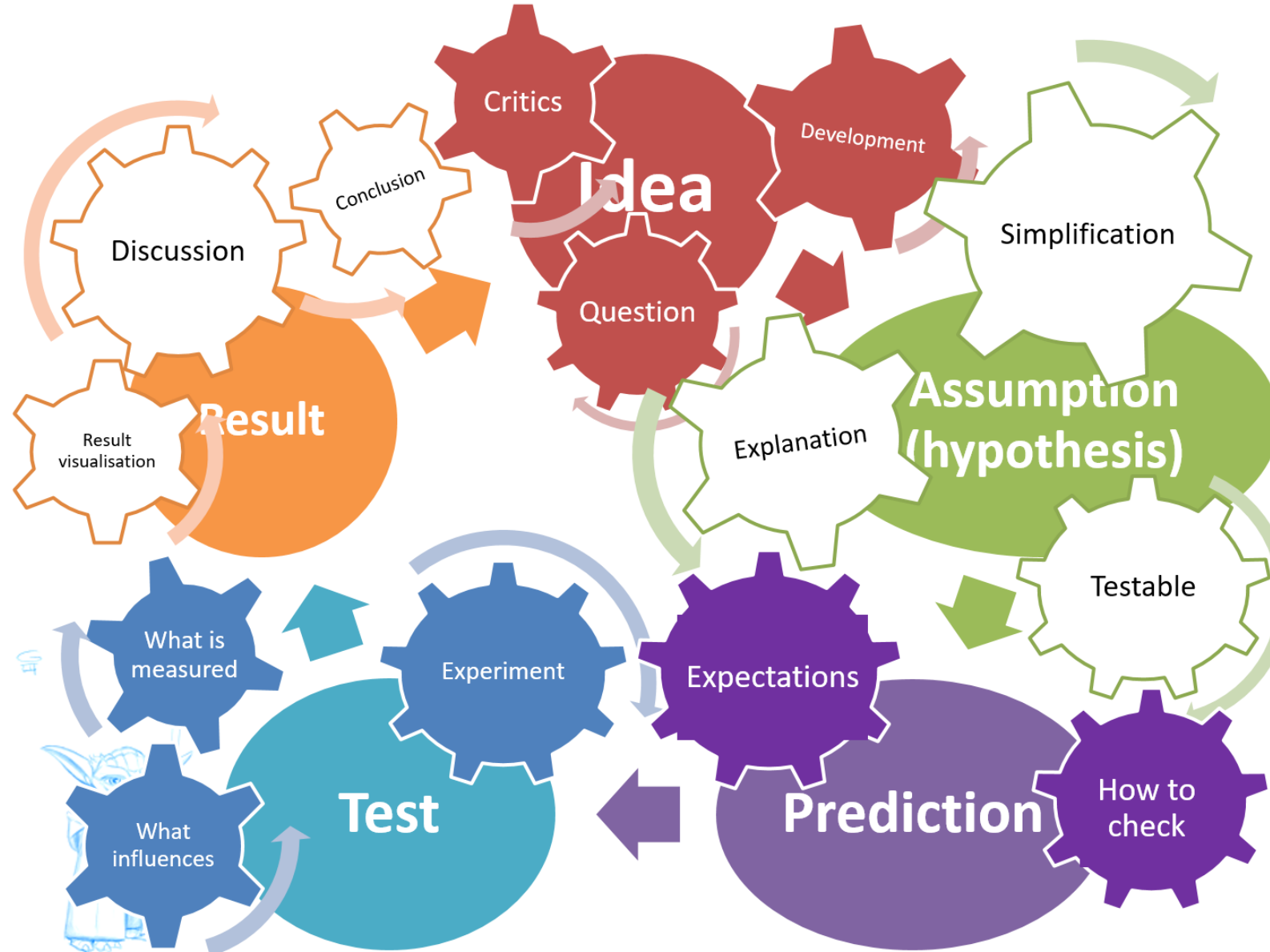
- Natuurkunde is een empirisch vak: de kennis is gestoeld op metingen. Zelf onderzoek doen maakt dit wellicht voor leerlingen duidelijk.
- Door leerlingen te leren onderzoeken kun je ze een kritische en analytische houding aanleren.
- Concepten kunnen (meer) betekenis krijgen door praktische ervaring.
- Onderzoeken kan een motiverend aspect hebben.

Is er een onderzoeksmethode?

- Onderzoeksvraag
- Hypothese
- Methode
- Resultaten
- Conclusie
- Discussie



Is er een onderzoeksmethode?



Wat moeten ze leren?

Examenprogramma VWO

De kandidaat kan in contexten vraagstellingen analyseren, gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren, en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Wat moeten ze leren?

Next Generation Science Standards

- Identificeren van vragen en concepten die wetenschappelijk onderzoek richting geven.
- Ontwerpen en uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek.
- Gebruik maken van technologie en wiskunde om onderzoek en communicatie te verbeteren.
- Formuleren en herzien van wetenschappelijke verklaringen en modellen door gebruik te maken van logica en bewijzen.
- Herkennen en analyseren van alternatieve verklaringen en modellen.
- Communiceren en verdedigen van een wetenschappelijk argument.

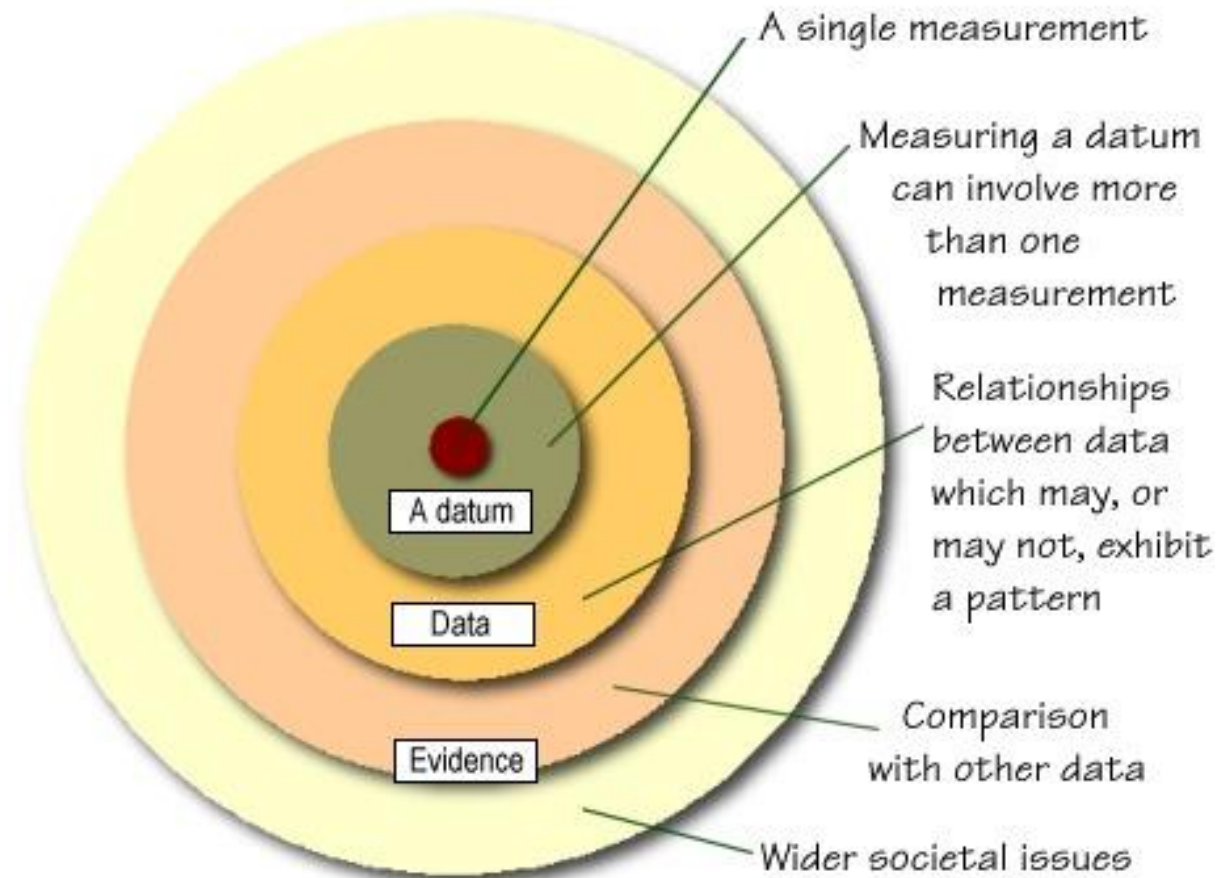
Wat moeten ze leren?

- Een onderzoeksvraag opstellen.
- Een bijpassend onderzoek bedenken.
- Bedenken hoe de meetonzekerheid zo klein mogelijk gehouden kan worden en beargumenteren hoe de meetonzekerheid doorwerkt in de conclusie.
- Het onderzoek uitvoeren.
- Wiskundig verbanden vinden uit data en op basis van dat verband een voorspelling doen.
- Conclusies trekken die volgen uit de data.

Algemeen

- Tijd voor metingen verzamelen moet beperkt zijn.
- De discussie voor- en achteraf moet centraal staan.
- Geen verslagen, wel labjournals
- Onderzoeksresultaten hergebruiken
- Materialen (vwo)

Leerlijn onderzoeken



Mens van Vitruvius

Onderzoeksvraag:

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

Opdracht:

Meet de lichaamslengte en bijbehorende spanwijdte van een collega (van vingertop tot vingertop bij gespreide armen). Deel de verzamelde data in de spreadsheet.

Discussie (1/2)

- Heeft iedereen op dezelfde manier gemeten?
- Is er een beste manier om te meten?
- Tellen de hoogte van de schoenzolen mee?

Discussie (2/2)

- 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 en ben je daar zeker van?
- Moet dat wiskundig verband door de oorsprong gaan? Waarom wel/niet?

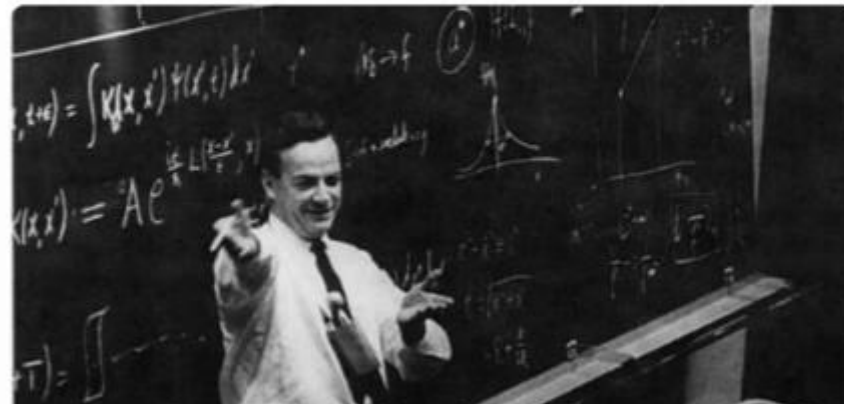
Boodschap

Wetenschap geeft de mogelijkheid om heel precies gebeurtenissen en eigenschappen van gebeurtenissen te voorspellen.

Conclusies kunnen slechts getrokken worden voor gebeurtenissen die binnen het meetbereik liggen.

Richard Feynman @ProfFeynm... · 1u ▼

We are never definitely right, we can only be sure we are wrong!



Belangrijk!!!

Voor de volgende opdracht moet het absoluut stil zijn, geen overleg of o ja momenten...

Doe een observatie



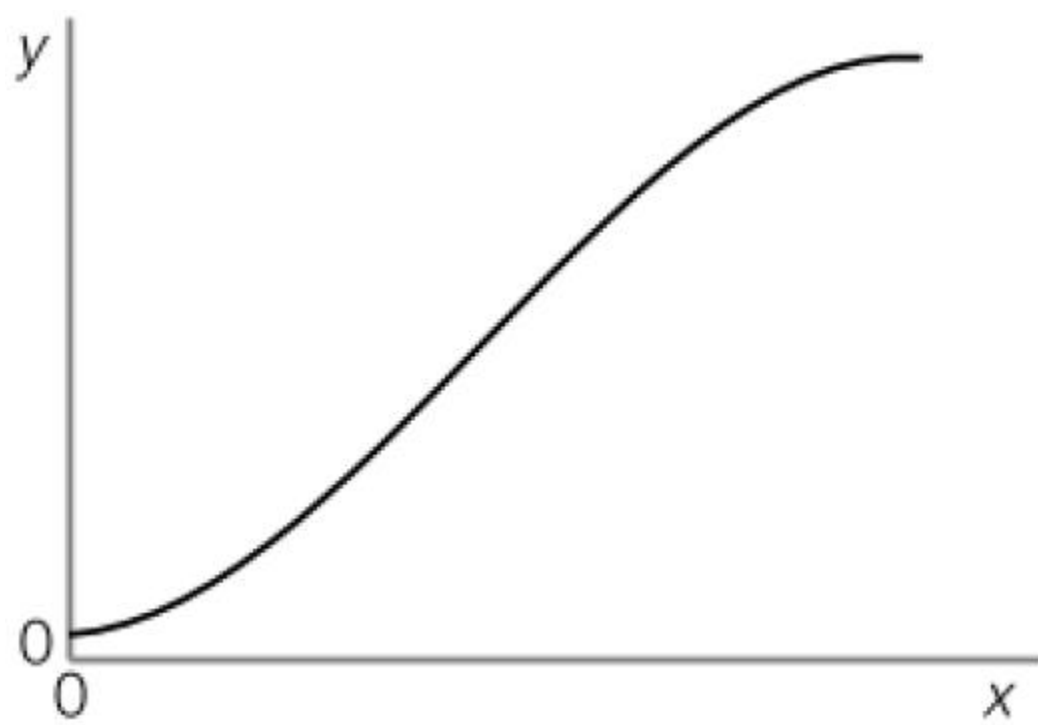
Boodschap

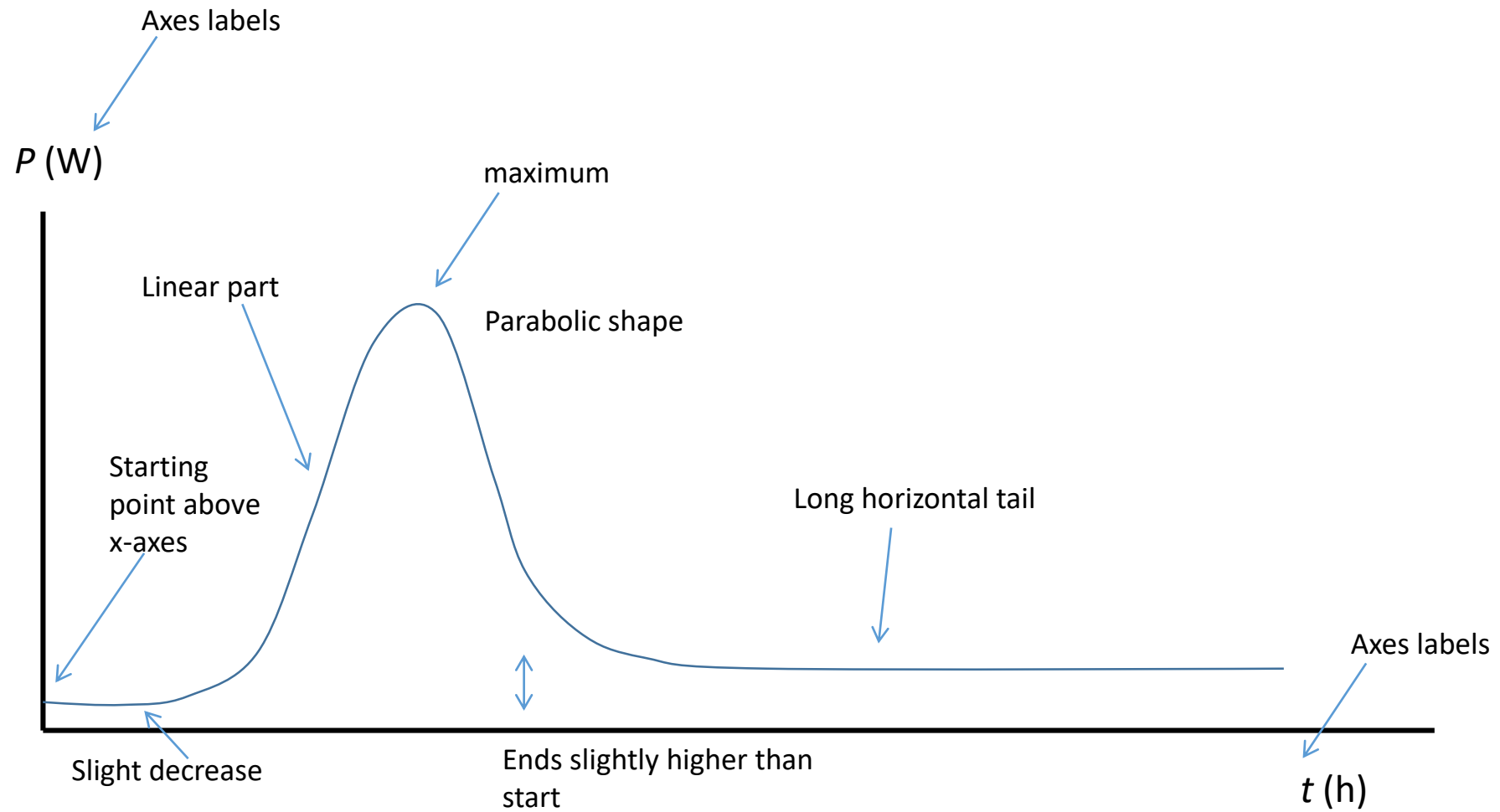
Observaties en aannames zijn verschillende dingen.

Wat je ziet/meet hangt af van waar je naar kijkt en wat je weet.

Leerlingen brengen hun eigen 'onderzoeksbil' en kennis mee, dit beïnvloedt de uitkomsten.







Slingertijd en massa

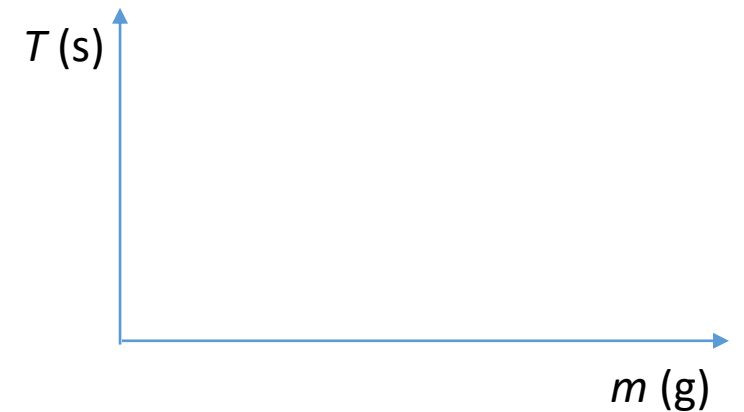
Bepaal hoe de trillingstijd van een slinger af hangt van de massa.

Voer daartoe de volgende opdrachten uit:

Teken welke verband je verwacht.

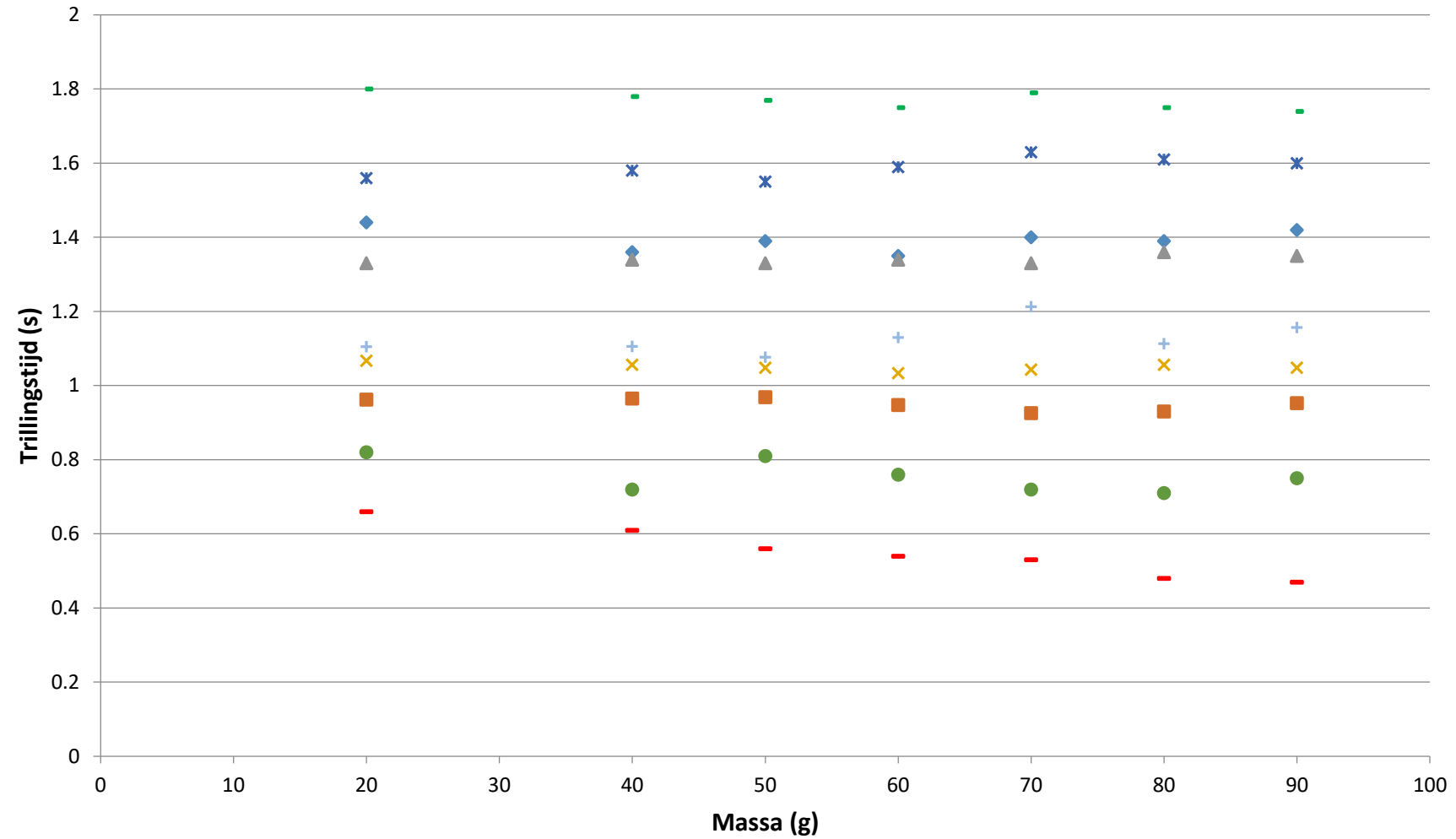
Verzamel metingen bij een vaste lengte.

Deel je metingen op het bord.

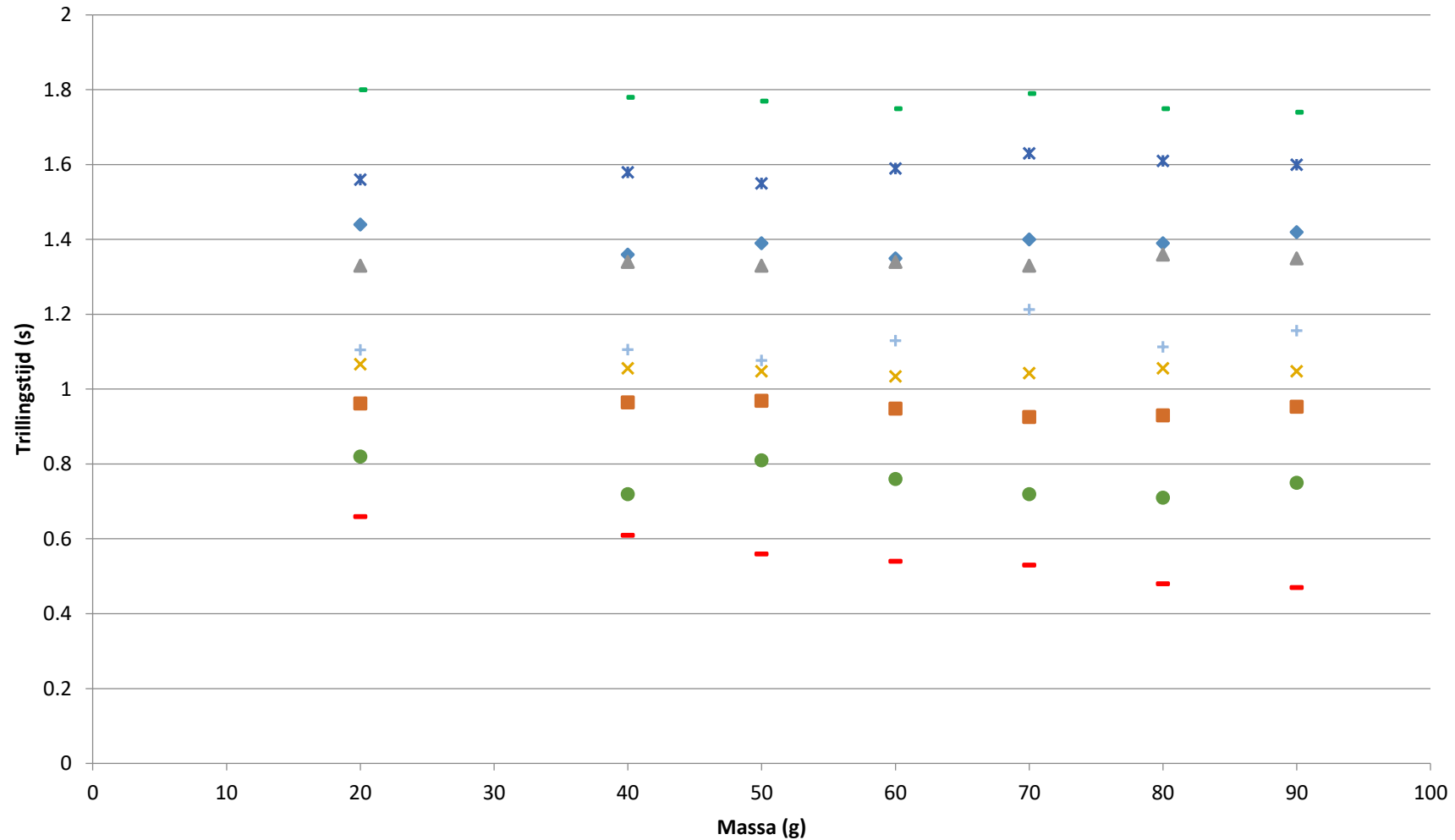


$m \text{ (g)}$	$T_{\text{gem}} \text{ (s)}$
20	
40	
50	
60	
70	
80	
90	

Resultaat



Welke conclusies kunnen op basis van deze metingen getrokken worden?

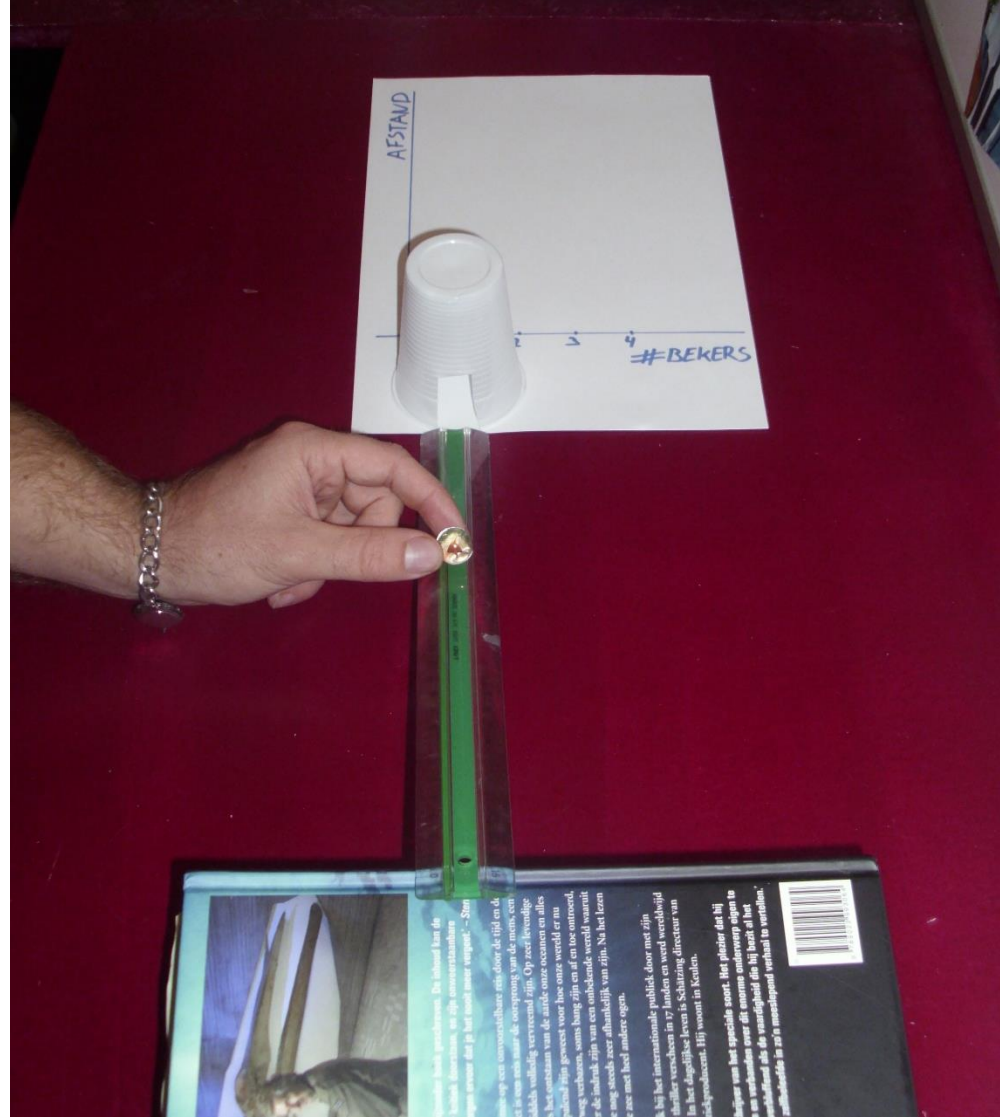


Boodschap

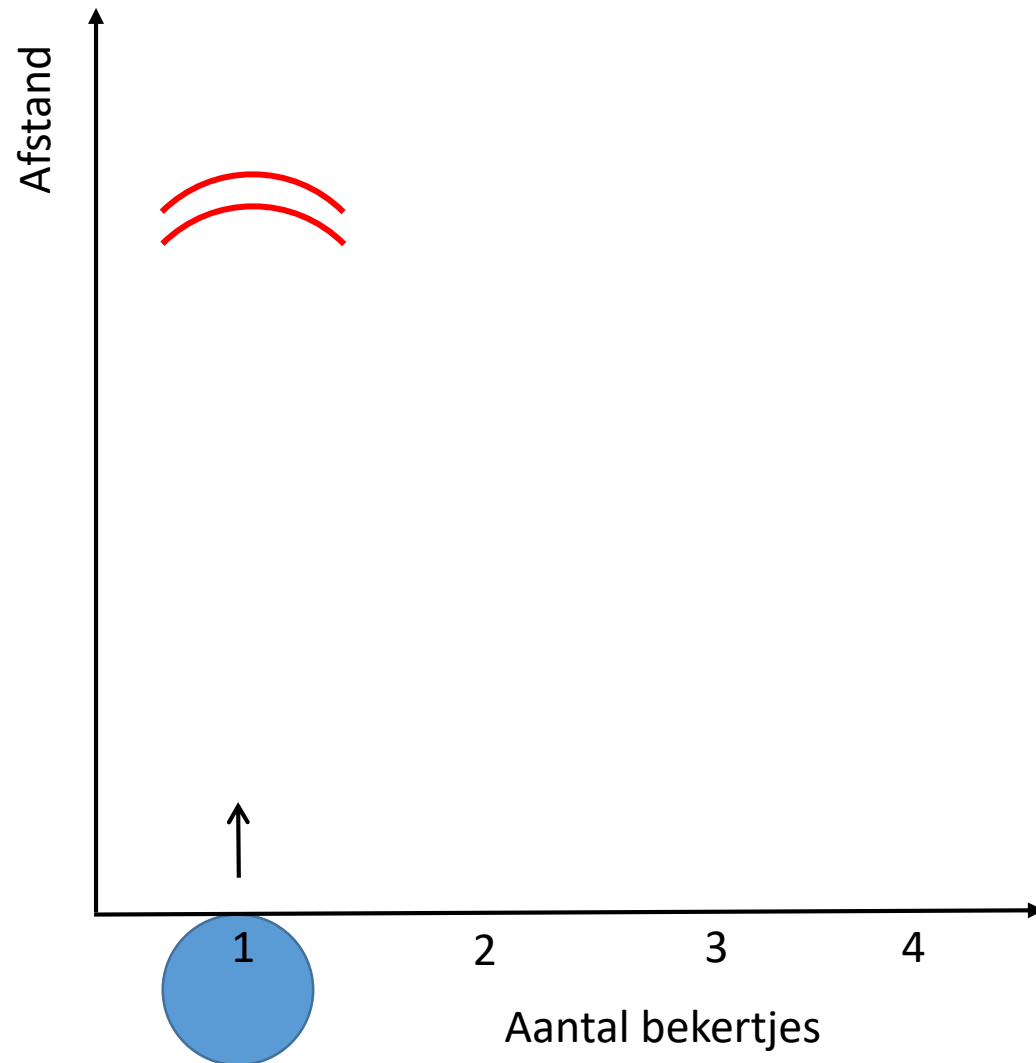
Delen van metingen op het bord heeft een meerwaarde.

De wijze waarop je meet, beïnvloedt je eindconclusie.

Bekertjespracticum



Bekertjespracticum



- Maak op het papier een assenkruis.
- Zet een bekertje op de horizontale as.
- Laat het balletje in het bekertje rollen.
- Zet een streep waar het balletje komt.
- Doe deze meting een aantal keer.
- Verplaats de beker naar rechts.
- Plaats er een beker bovenop.
- Herhaal bovenstaande procedure...

Discussie

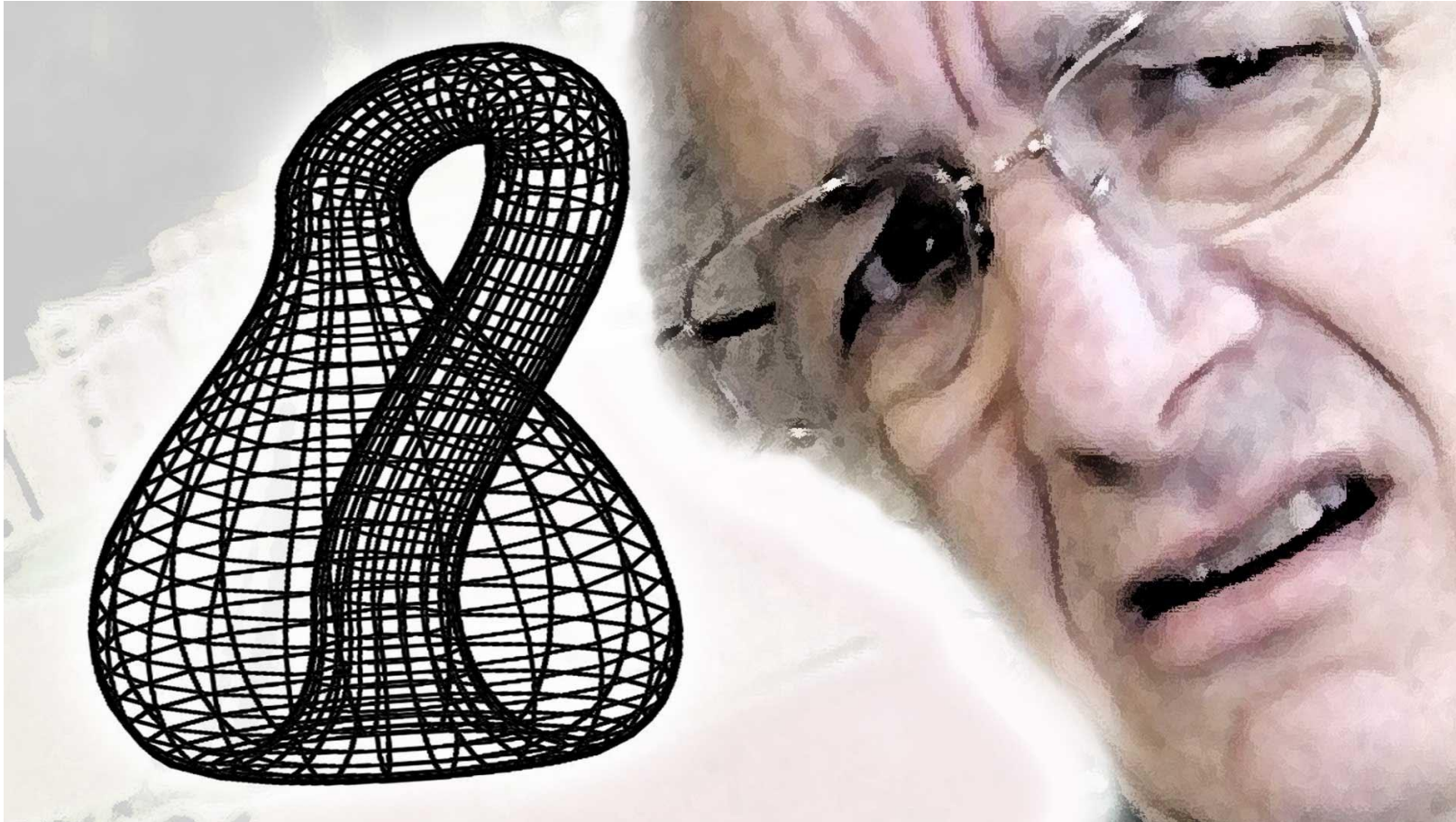
- Wat is de 'echte' waarde die hoort bij 1 bekertje?
- Waarom herhaal je de proef een aantal keer?
- Wat voor verband zie je tussen het aantal bekertjes en de afstand?
- Komt jouw grafiek overeen met die van je burens? Waarin zitten de verschillen/overeenkomsten?

Boodschap

Bij meten heb je altijd een variatie. Meerdere metingen leiden tot een betere benadering van de 'werkelijke' waarde (de waarde die in een ideaal experiment verkregen zou worden).

Doe de opdracht op het blad

Boodschap



Practicum gemiddelde snelheid en hoogte

Dichtheid van water

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



Discussie

- Zijn je metingen hetzelfde als die van je buren?
- 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?

Boodschap

Door metingen in een grafiek te zetten en de ri.co. te bepalen krijg je een gewogen gemiddelde die de werkelijke waarde beter benadert.

Bij het eindantwoord houd je rekening met significante cijfers.

Slingerproef

In veel actiefilms worden natuurkundige wetten genegeerd. Hoe zit dat in de film Spiderman als Spiderman van de ene kant van de stad naar de andere slingert? Kun je op basis van eigen metingen iets zeggen over de natuurkundige juistheid van deze manier van voortbewegen?

Slingerproef

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!

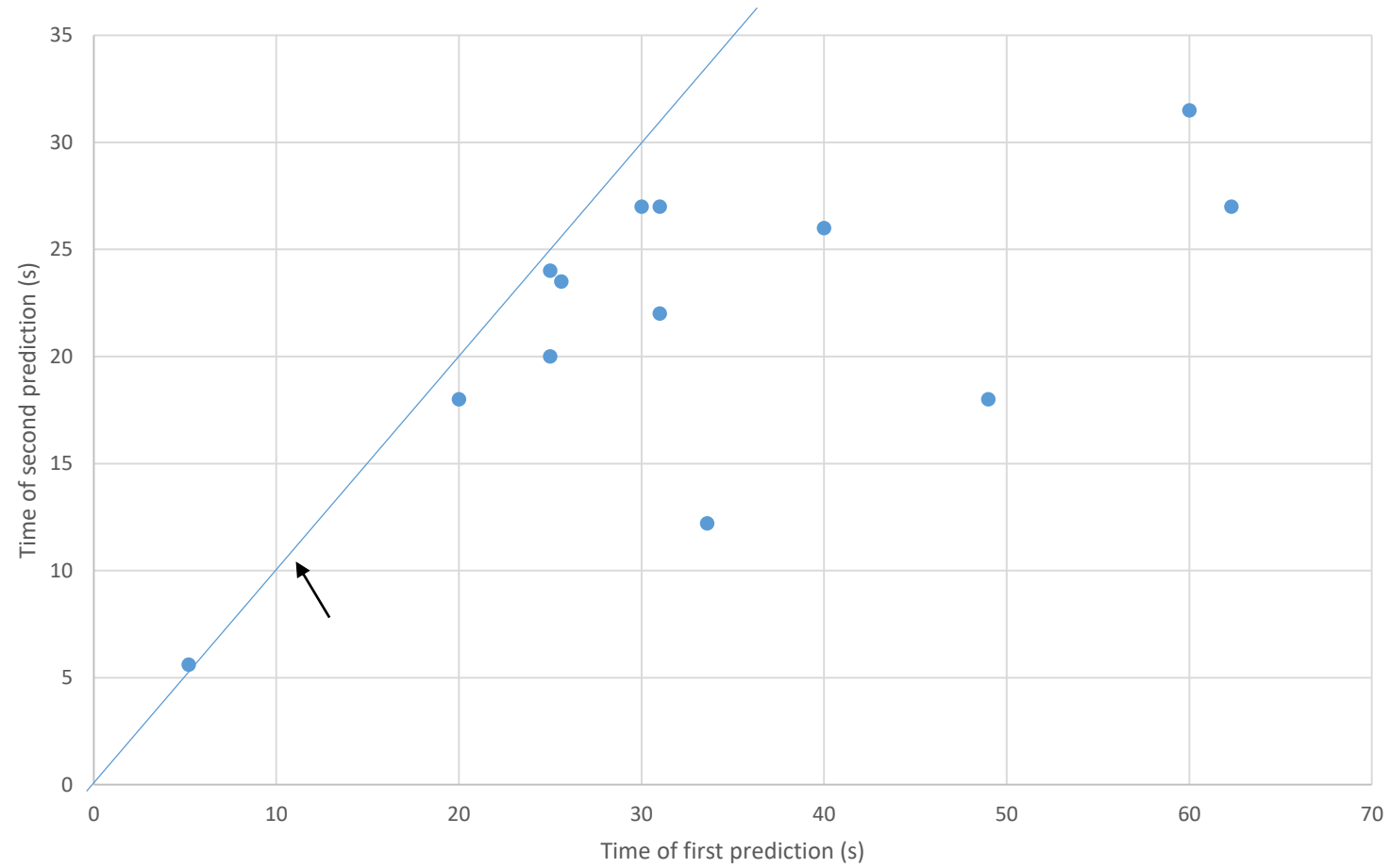
Slingerproef meting bij 5,0 m.



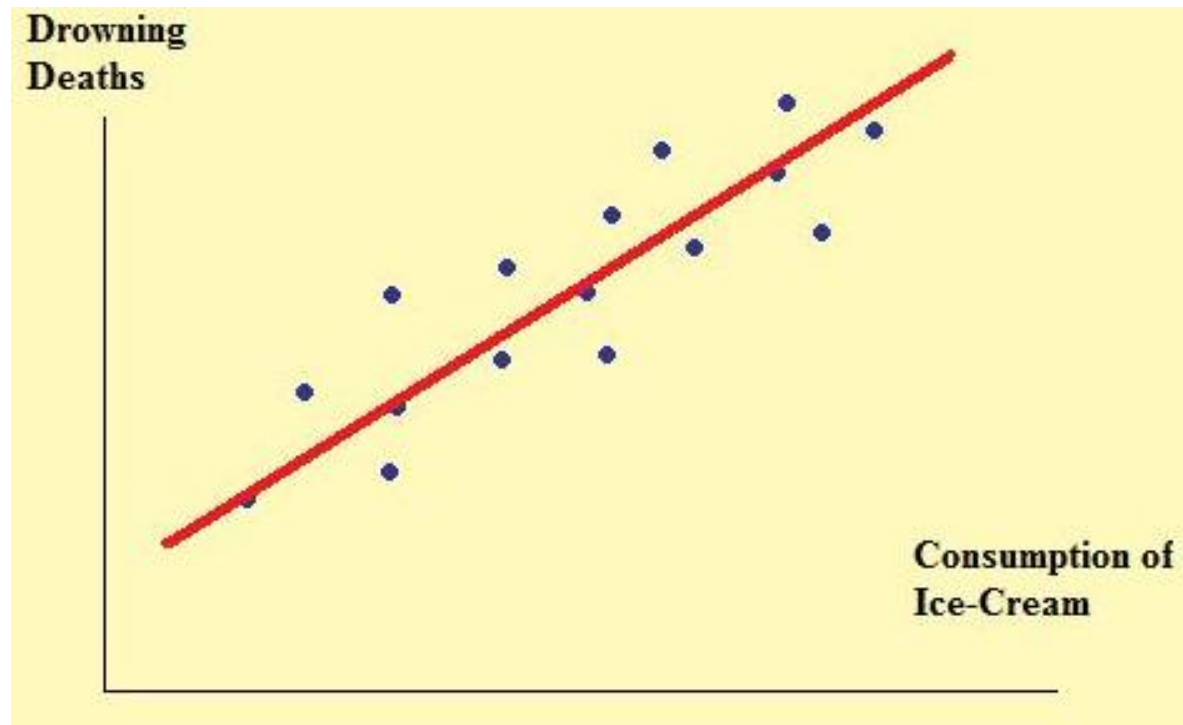
Bespreking

- 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?

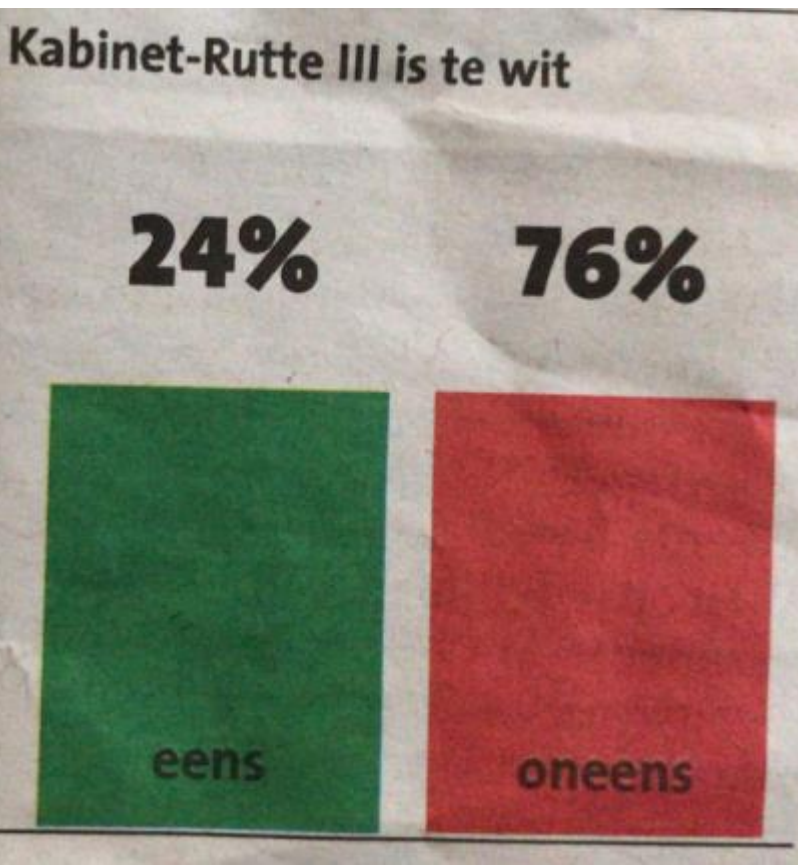
Uitkomst



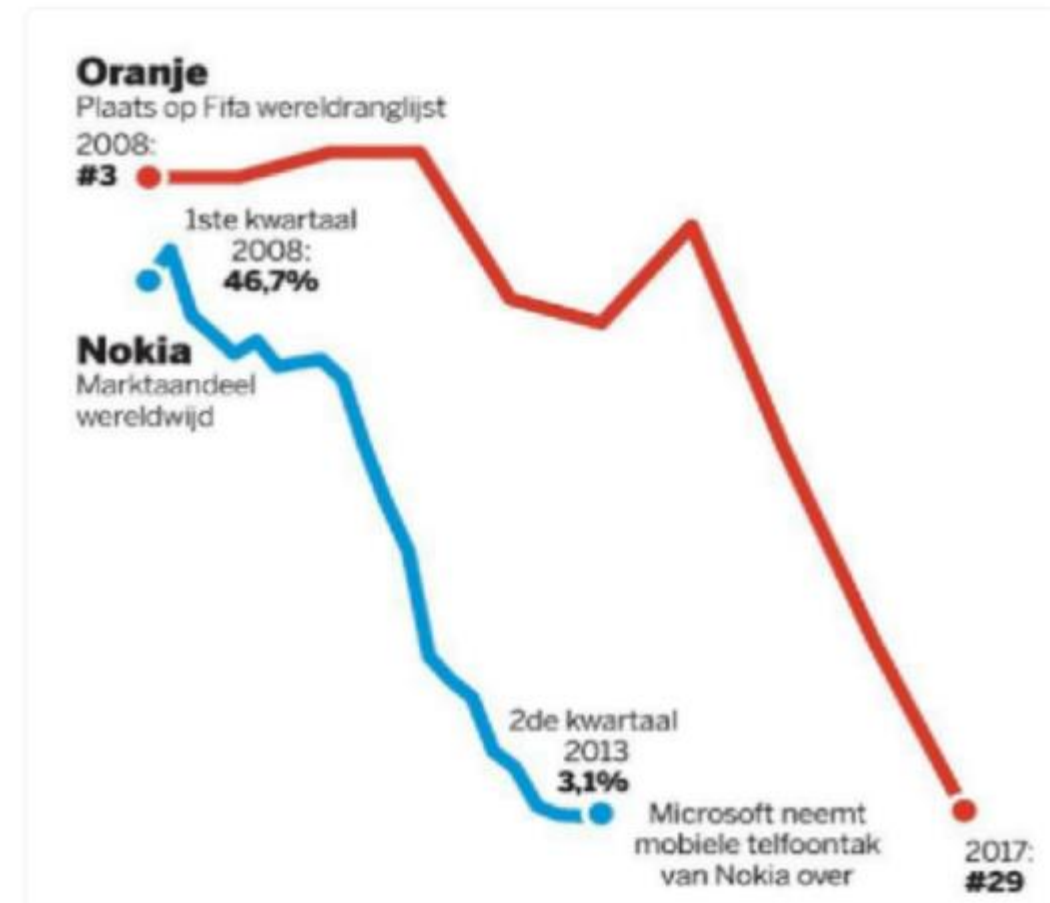
Data presentatie



Datapresentatie

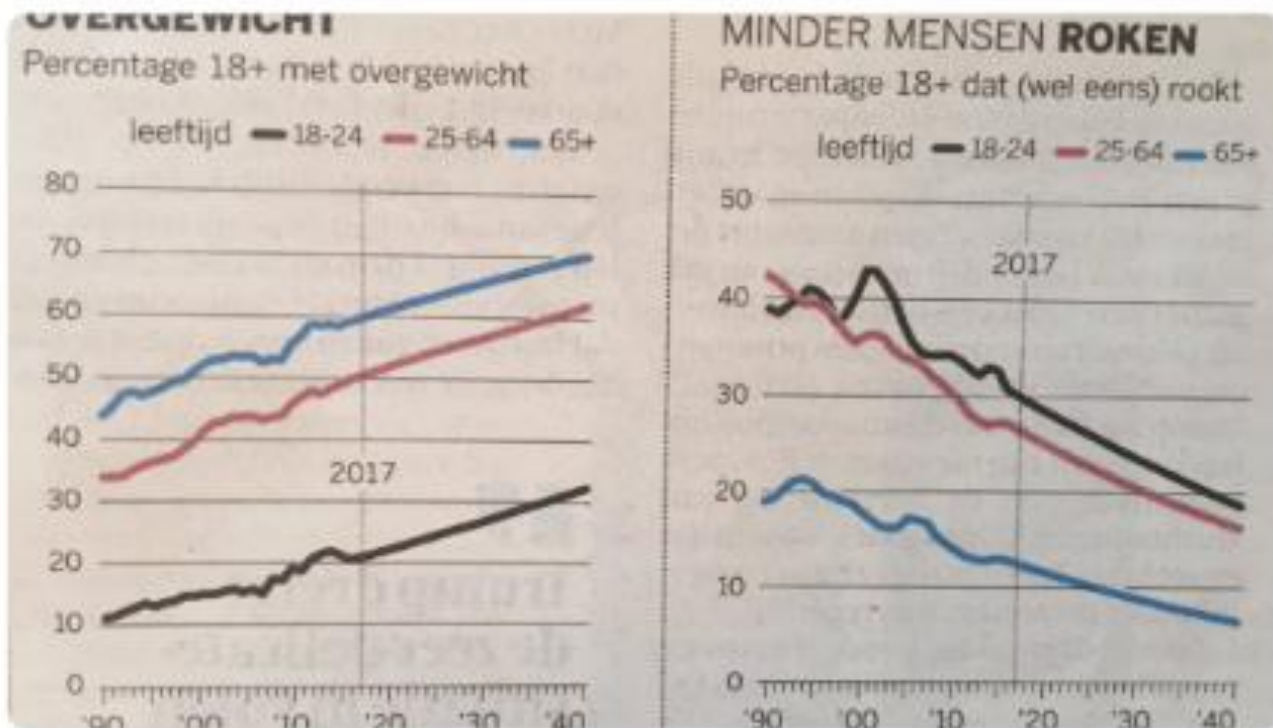


Artikel in VK dat het verval van het Nederlands elftal met Nokia vergelijkt bevat deze 'verhelderende' grafiek.



Datapresentatie

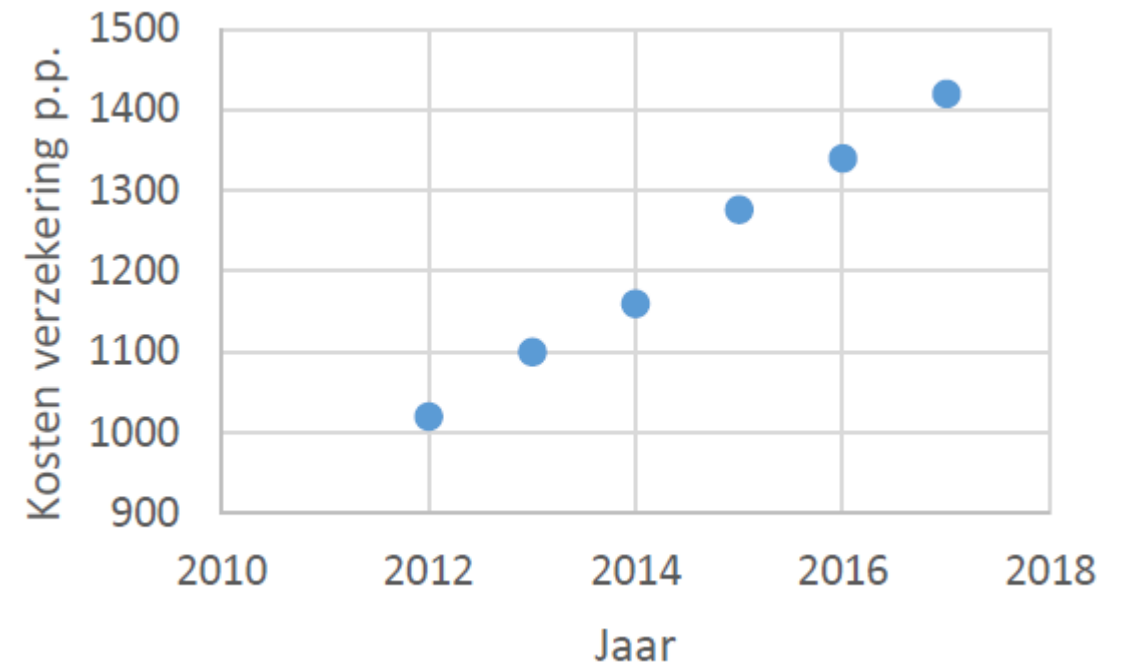
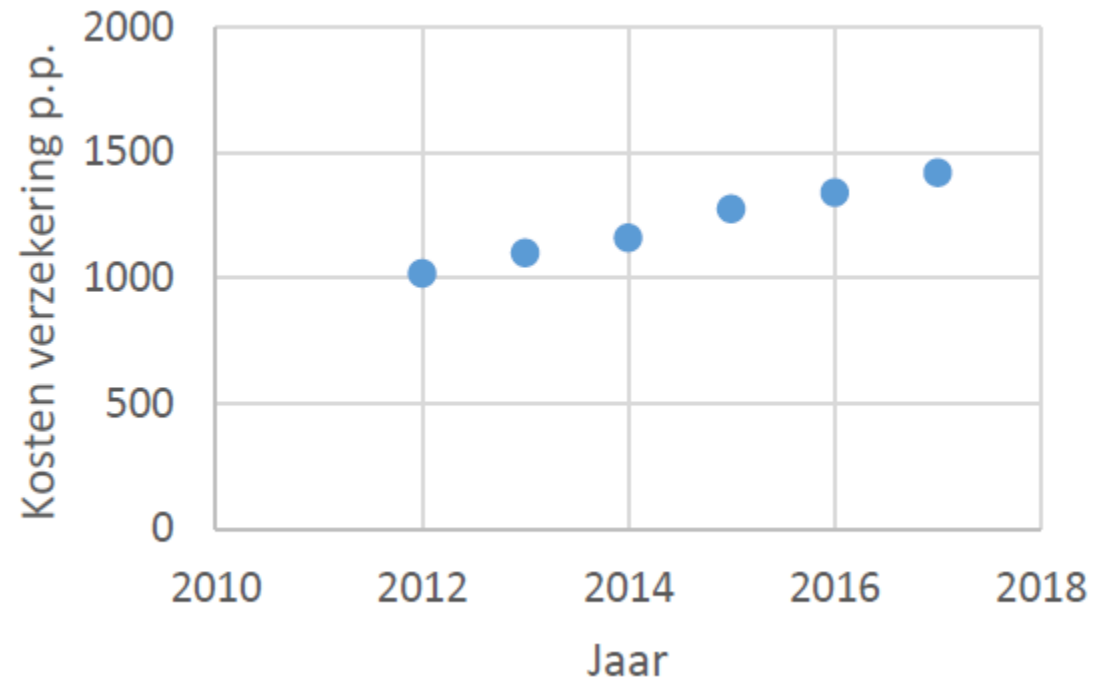
Veel terecht protest tegen hoog eigen risico, maar het collegegeld stijgt nog veel harder. Tijd voor een [#onderwijskabinet!](#)



S T I J G I N G
C O L L E G E G E L D

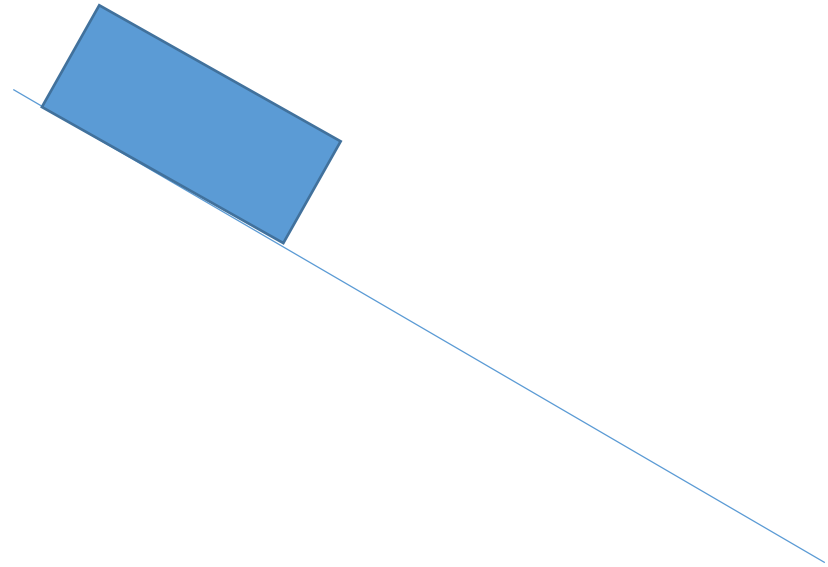
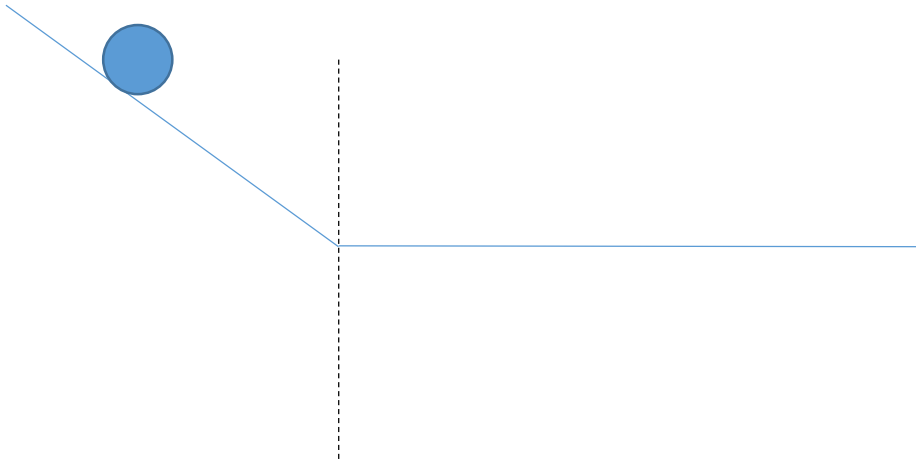


Datapresentatie



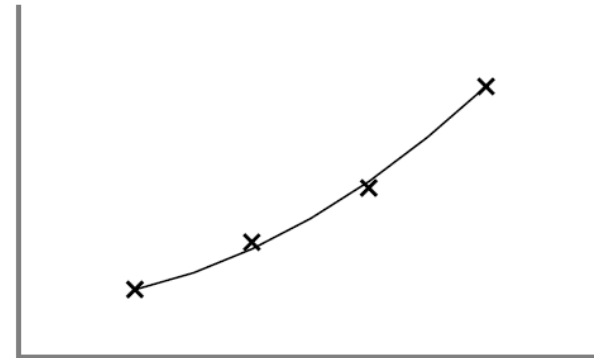
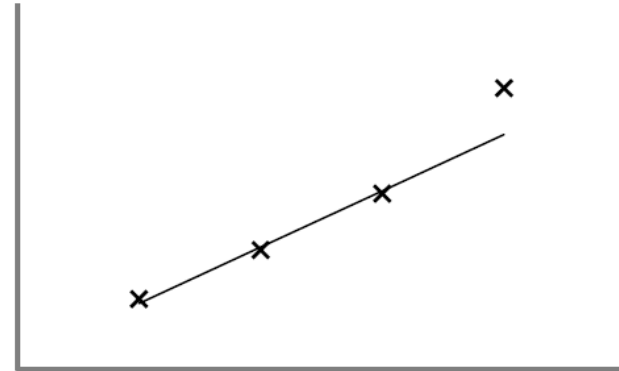
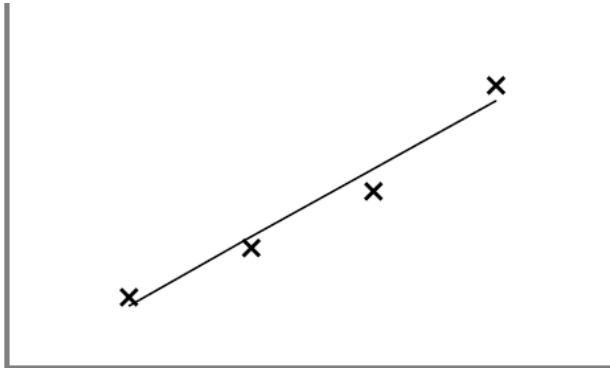
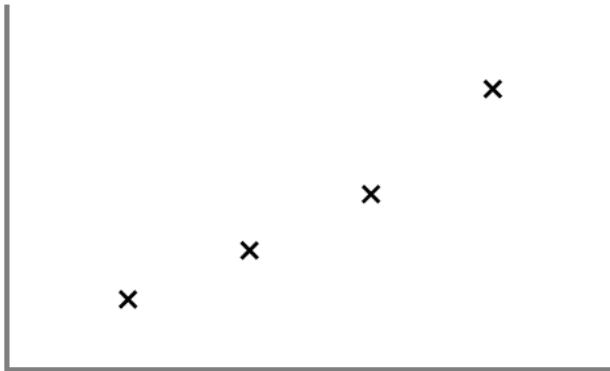
Twee (x,t) -proeven

Meet op verschillende plaatsen de reistijd.
Vergelijk je resultaten met anderen.



Coördinaat transformatie

Welke mogelijkheden heb je om te onderzoeken of er sprake is van een recht evenredig verband, omgekeerd evenredig, wortel verband, kwadratisch verband....



Coördinaat transformatie

De algemene beschrijving voor een formule is: $y = a \cdot x^n (+ b)$

Hierin is n gelijk aan -2; -1; 0,5; 1 of 2 en a een constante waarde.

$$y = a/x^2 \quad \rightarrow \quad a = y \cdot x^2$$

$$y = a/x \quad \rightarrow \quad a = y \cdot x$$

$$y = a \cdot x^{0,5} \quad \rightarrow \quad a = y/x^{0,5}$$

$$y = a \cdot x^1 \quad \rightarrow \quad a = y/x$$

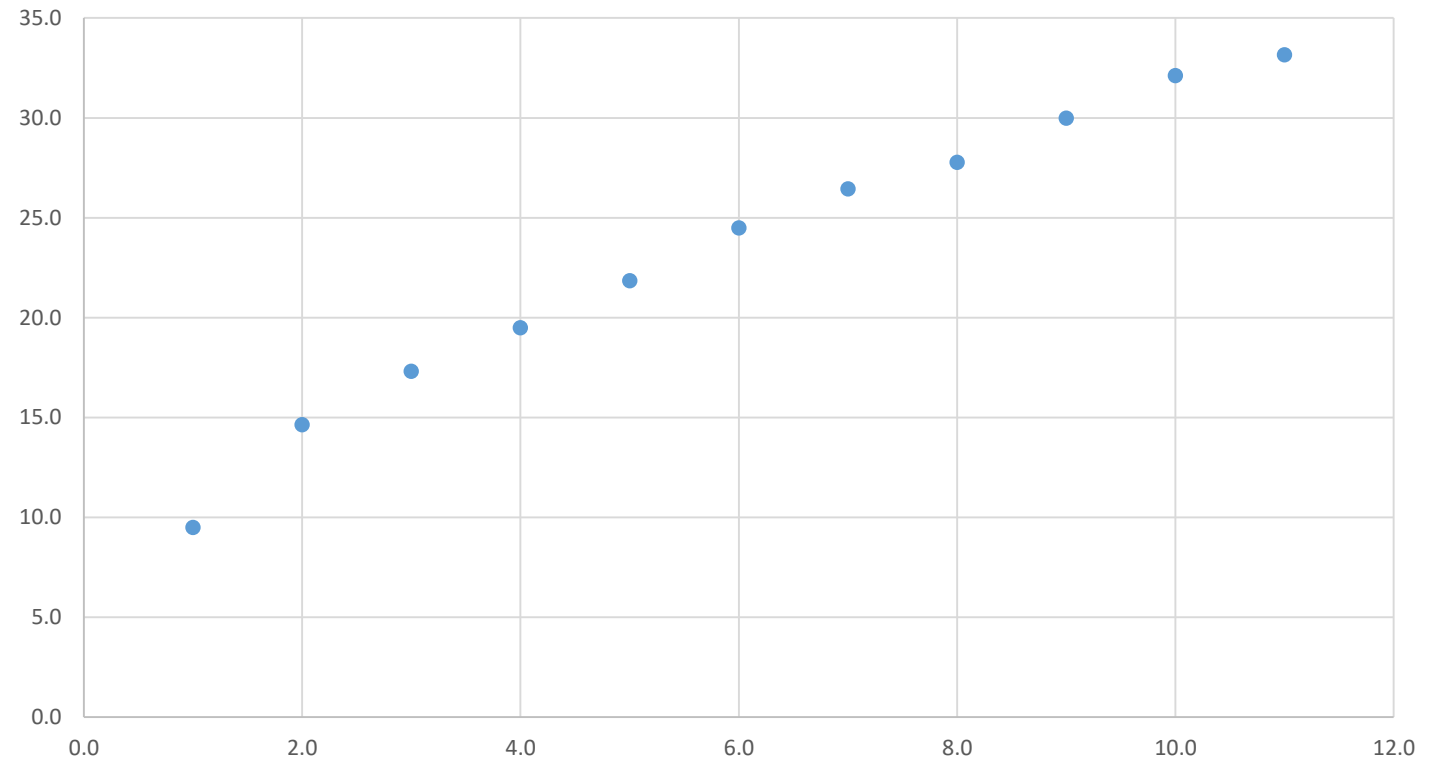
$$y = a \cdot x^2 \quad \rightarrow \quad a = y/x^2$$

Coördinaat transformatie

- 1: Teken de grafiek.
- 2: Geef het vermoeden.
- 3: Controleer met verdubbelen.
- 4: Reken voor alle metingen de constante waarde uit (a).
- 5: Is deze constant, dan klopt je vermoeden.

Coördinaat transformatie

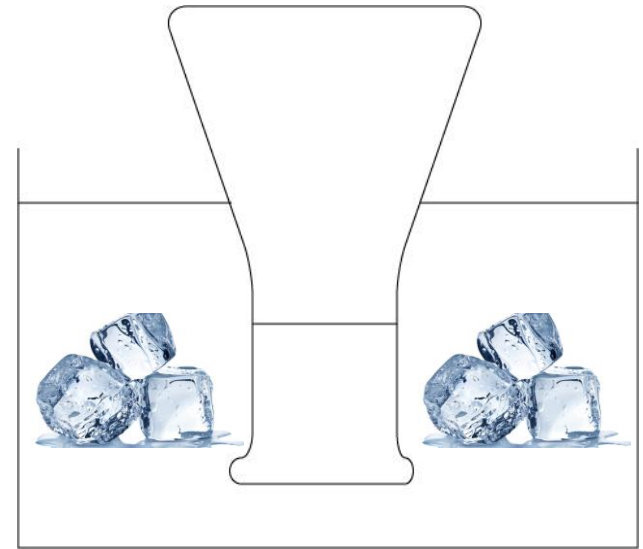
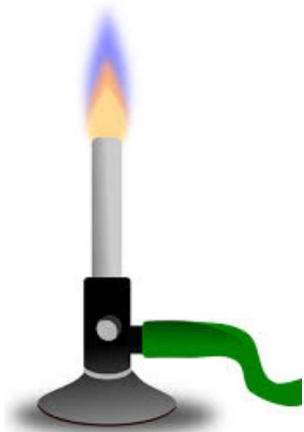
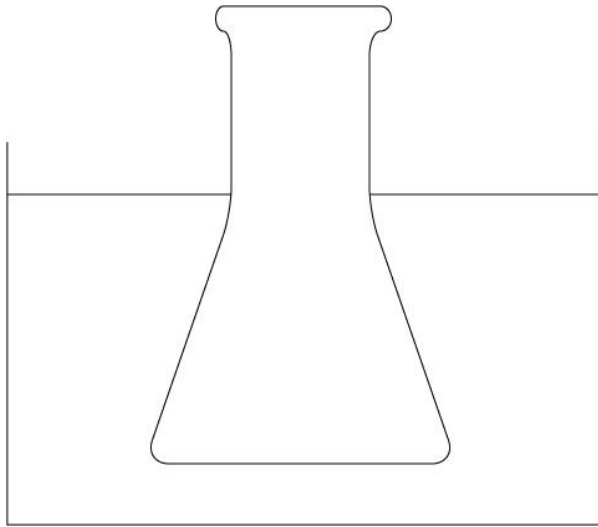
x	y	$a = y / x^{0.5}$
0.0	-	
1.0	10.0	10.0
2.0	13.6	9.6
3.0	17.8	10.3
4.0	20.0	10.0
5.0	22.9	10.2
6.0	25.0	10.2
7.0	26.5	10.0
8.0	27.8	9.8
9.0	30.0	10.0
10.0	32.1	10.2
11.0	32.7	9.8



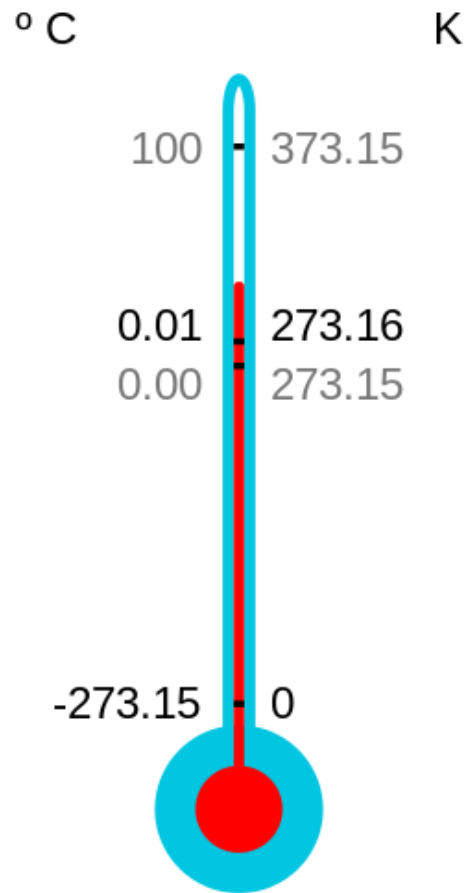
Opdracht

Onderzoek m.b.v. deze kennis wat voor verband je hebt bij de bekertjesproef en de slingerproef.

Absolute nulpunt

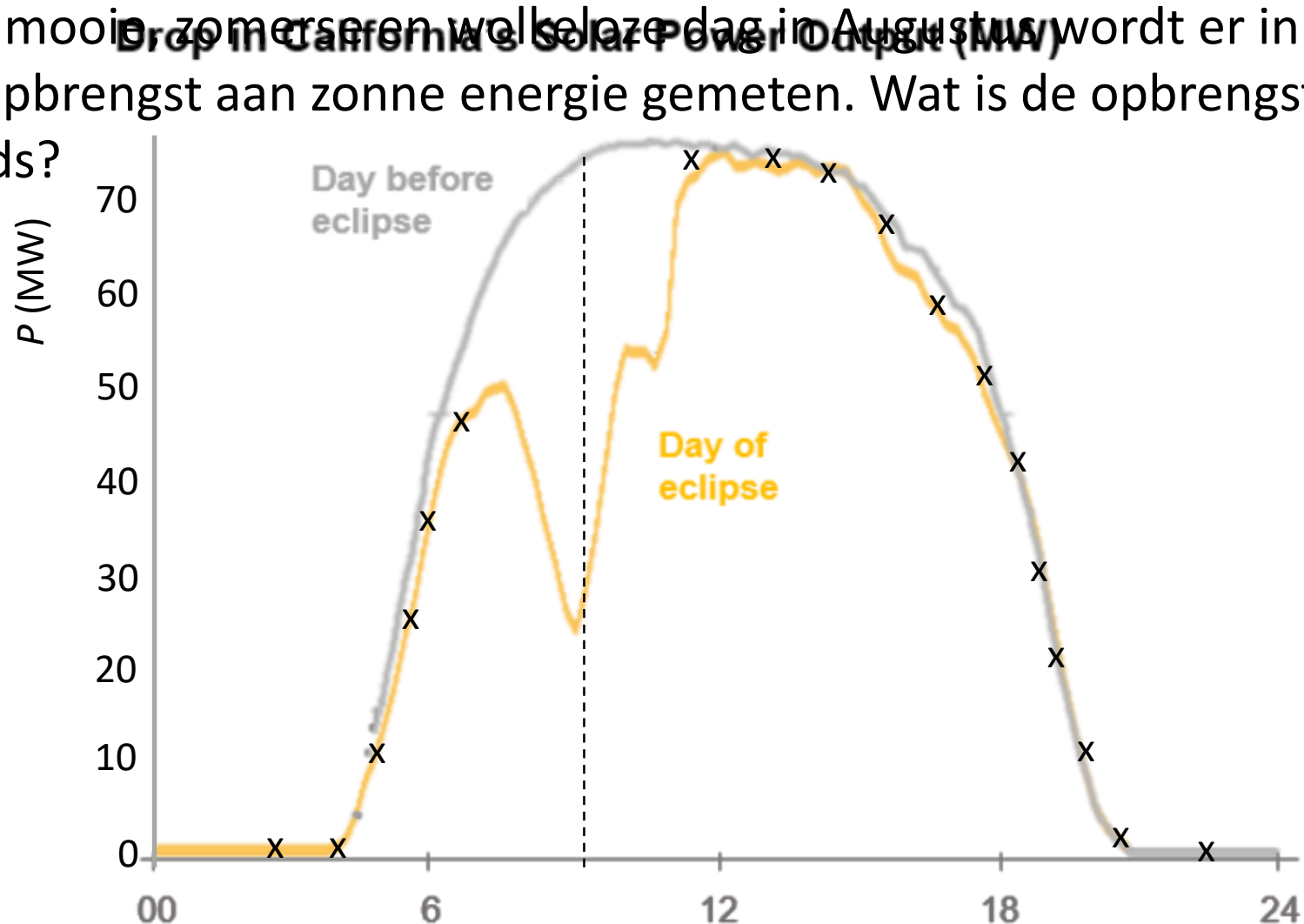


Uitkomst

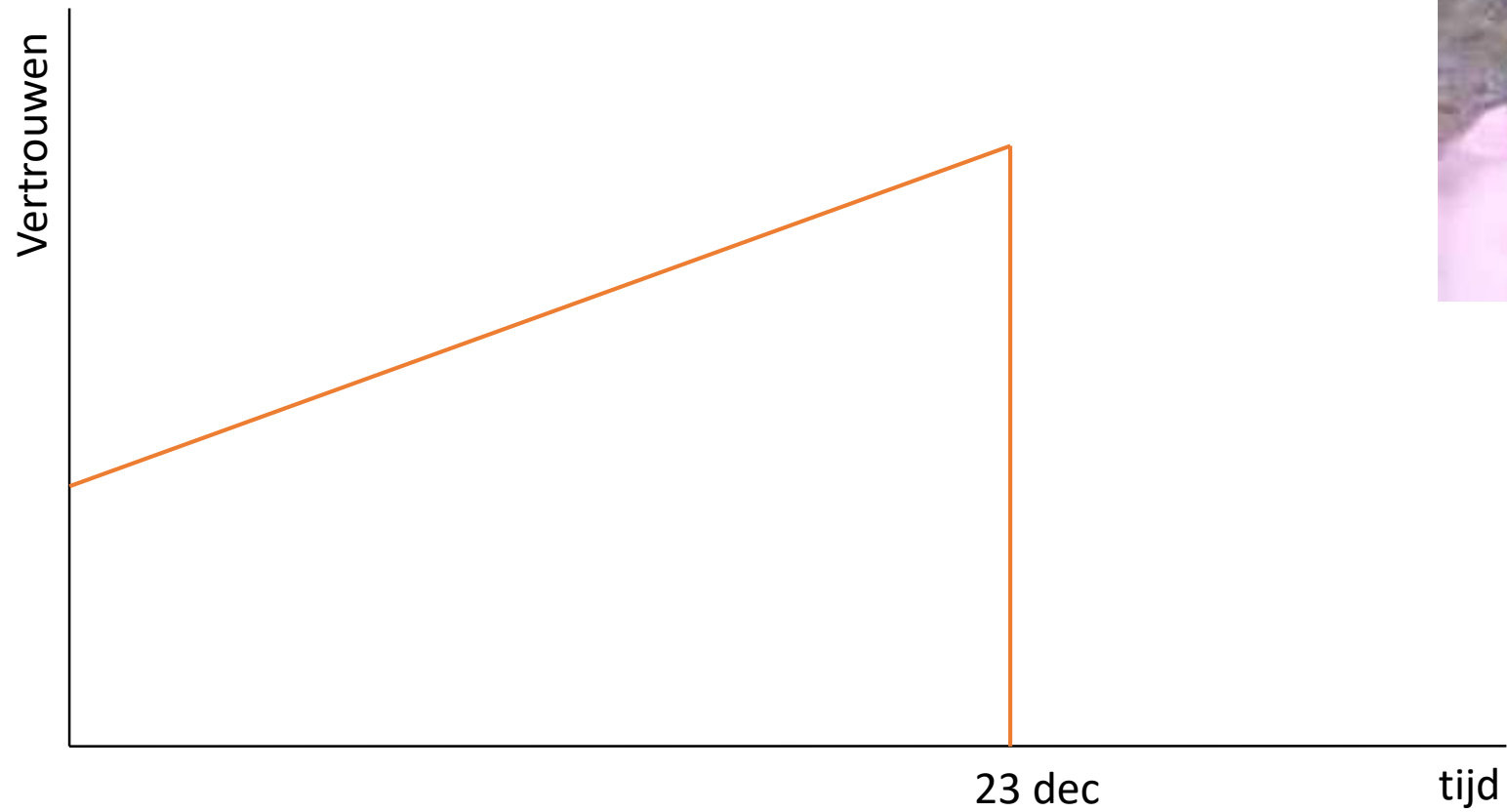


Opdracht

Op een mooie zomerse en wolkeloze dag in Augustus wordt er in Californië de totale opbrengst aan zonne energie gemeten. Wat is de opbrengst om 9 uur 's ochtends?



Vertrouwen



If at first you
DON'T Succeed
try TWO MORE TIMES

So that your
FAILURE

is
Statistically Significant