



Modeldidactiek

Auteurs	Onne Slooten ; Liliane Bouma
Team	Modeldidactiek
Laatst gewijzigd	16 april 2024
Licentie	CC Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationale licentie
Webadres	https://maken.wikiwijs.nl/203809/



Dit lesmateriaal is gemaakt met Wikiwijs van Kennisnet. Wikiwijs is hét onderwijsplatform waar je leermiddelen zoekt, maakt en deelt.

Inhoudsopgave

Modeldidactiek	2
Over deze pagina	2
Wat is Modeldidactiek?	2
PLG Modeldidactiek	3
Bronnen	4
1. Kinematica	5
Practicum videometen treintje	5
Practicum botsende treintjes	8
Practicum videometen kar van een helling	10
Demo - basketbal	13
2. Mechanica	17
1. Demo: Soorten krachten	17
2. Demo: Hoverball	20
3. Practicum Vallende bakjes	23
3. Elektriciteit	27
4. Elektromagnetisme	28
5. Straling	29
6. Trillingen en golven	30
P1 Trillingen	37
7. Optica	38
1. Demo: licht	38
2. Oefenles stralendiagrammen	41
8. Stoffen en materialen	43
Practicum Soortelijke warmte (deel 1)	43
Practicum Soortelijke warmte (deel 2)	47
9. Practicum leerlijn	50
Ohmse weerstand	50
Horizontale worp	53
Contact	57
Over dit lesmateriaal	58

Modeldidactiek

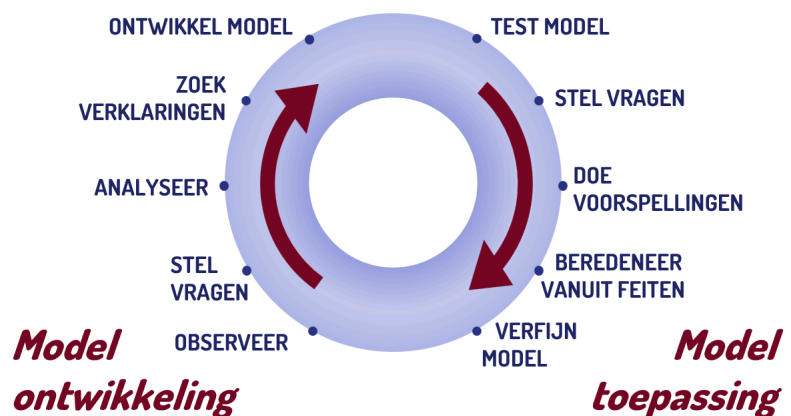
Over deze pagina

Modeldidactiek is een "guided inquiry" didactiek voor de bètavakken, geïnspireerd op de Amerikaanse Modeling Instruction™ aanpak. Centraal is het werken met modellen die door leerlingen zelf worden ontwikkeld vanuit experimenten. De vakinhoud wordt daarmee niet eerst uitgelegd, maar er wordt gestart met een experiment dat door de leerlingen wordt geanalyseerd. Geleid door de docent bouwen zij een model op dat het experiment kan beschrijven. Voor deze didactiek is veel Engelstalig docentenmateriaal beschikbaar en door een professionele leergemeenschap (PLG) is materiaal ontwikkeld voor de Nederlandse situatie onder de naam Modeldidactiek. Momenteel is er alleen materiaal voor natuurkunde, maar een uitbreiding naar biologie en scheikunde wordt verkend.

Op deze wikiwijs pagina publiceren we de docentenhandleidingen die zijn ontwikkeld door de PLG. Alle handleidingen zijn te gebruiken onder een Creative Commons Licentie CC-BY-SA.

Het komende jaar wordt het project vermoedelijk voortgezet. Graag komen we in contact met geïnteresseerden die mee willen ontwikkelen, testen of alleen willen deelnemen aan de PLG. Er is subsidiebudget voor taakuren. Ook docenten/vakdidactici biologie en scheikunde zijn zeer welkom, mogelijk kunnen we voor die vakken een start maken.

De Modeldidactiek Cyclus



Wat is Modeldidactiek?

De didactiek Modeling Instruction™ werkt volgens het principe van "guided inquiry" en is gestart door David Hestenes en Malcolm Wells. Voor het Amerikaanse onderwijs is een uitgebreide set docentenmateriaal ontwikkeld door de AMTA organisatie voor alle bètavakken. Centraal is het werken met modellen die door leerlingen zelf worden ontwikkeld vanuit experimenten. De vakinhoud wordt daarmee niet eerst uitgelegd, maar er wordt gestart met een experiment dat door de leerlingen wordt geanalyseerd. Geleid door de docent bouwen zij een model op dat het experiment kan beschrijven. Daarbij wordt in groepjes, op grote whiteboards gewerkt. Klassikaal worden de whiteboards besproken, de verschillen tussen de representaties van de groepen dragen bij aan begrip. Een korte introductie is te vinden in deze video: [A Modeling Approach to Physics Instruction - YouTube](#).

Bij Modeling Instruction™) werken leerlingen volgens de modelleercyclus: leerlingen verwoorden een toetsbare hypothese, ontwerpen een experiment om deze hypothese te testen, voeren het experiment uit en bouwen vervolgens een wetenschappelijk model op, op basis van de data uit hun experiment. Dit model wordt op verschillende manieren gerepresenteerd: in woorden, met grafieken, met formules en met verschillende diagrammen.

Ze gebruiken dit model vervolgens om voorspellingen te doen over vergelijkbare situaties. Ten slotte worden ze geconfronteerd met een situatie waar hun model geen uitspraak over doet, waarna er een nieuw model wordt opgebouwd. Hierna wordt ook dit model gebruikt voor nieuwe situaties en zo wordt de cyclus steeds opnieuw doorlopen. Uit onderzoek is gebleken dat deze aanpak effectiever is dan traditionele manieren van onderwijs.

De opdrachten voor de leerlingen zijn zeer zorgvuldig uitgedacht. Er is veel vrijheid, maar door de randvoorwaarden die gesteld worden garandeert de docent het optimale resultaat. Er is uitgebreid docentenmateriaal beschikbaar waarmee de docent goed ondersteund wordt zodat het leerproces beheerst verloopt.

Docenten en leerlingen vinden lessen in deze vorm meestal erg leuk. In plaats van weer een les in de schoolbanken gaan ze in groepen zelf aan de slag in de klas of daarbuiten. Bij het bekijken van de resultaten van de experimenten ontstaat verwondering, en daarmee ook interesse en motivatie.

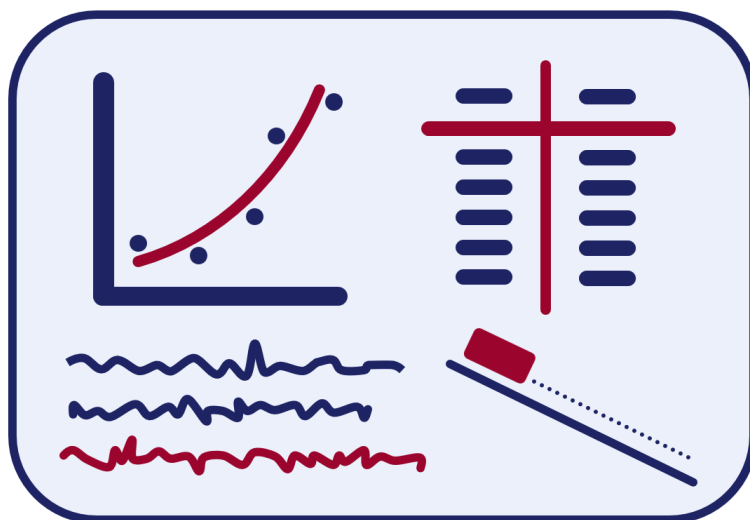
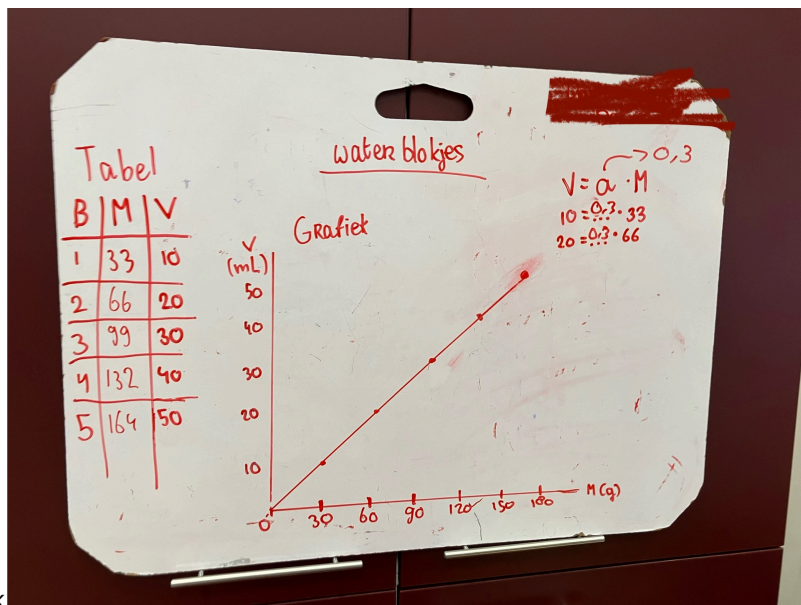
PLG Modeldidactiek

Op 2 juni 2022 is door het vo-ho netwerk Bètapartners een eerste verkennende workshop verzorgd door Dan MacIsaac en Kathleen Falconer van de AMTA (zie de [terugblik](#) op deze bijeenkomst) met docenten en vakdidactici natuurkunde uit het hele land. Uit de deelnemers van deze workshop is een groep gevormd van docenten die graag wilden experimenteren met Modeling Instruction™) in hun eigen lessen en elkaar daarbij wilden helpen.

In het schooljaar 2022-2023 is deze groep deelnemers in een professionele leergemeenschap vier keer bij elkaar gekomen. De groep heeft zich beperkt tot het schoolvak natuurkunde. Daarbij is materiaal vertaald en uitgeprobeerd. De ervaringen zijn zeer positief: Het blijkt goed te lukken om de gewenste leerresultaten te bereiken en de lessen zijn interessant voor leerlingen. Docenten moeten wel al voldoende ervaring hebben met lesgeven om het proces goed te kunnen begeleiden. De didactiek lijkt daarmee niet geschikt voor startende docenten. Zie ook de [NVOX](#).

De opzet van de bijeenkomsten in schooljaar 2023-2024:

- We organiseren drie bijeenkomsten op verschillende scholen
- Tijdens elke bijeenkomst wordt vertaald en deels bewerkt materiaal gepresenteerd. In de



bijeenkomst wordt het materiaal op elkaar "geoefend".

- Van deelnemers wordt verwacht dat ze tussen de bijeenkomsten door het gepresenteerde materiaal uitproberen en van feedback voorzien.
- Bij een volgende bijeenkomst worden ervaringen uitgewisseld en worden nieuwe activiteiten geoefend.

- Bijeenkomsten

Sessie 1: donderdag 19 oktober 2023 tijd: 14:15 - 19:00, inclusief diner.

Sessie 2: woensdag 10 april 2024

Sessie 3: donderdag 6 juni 2024

De locaties en tijden worden gepland in onderling overleg. De deelnemers komen meestal uit de regio's Noord- en Zuid-Holland.

Onne Slooten (Amsterdams Lyceum) en Ed van den Berg (oud-vakdidacticus) zijn de trekkers van het project, met ondersteuning van de vaksteunpuntcoördinator Natuurkunde van Bètapartners, Saïd el Haidouri. De PLG wordt georganiseerd door Bètapartners, de scholen van de deelnemers ondersteunen het project en de penvoerder is de vakvereniging voor de bètavakken, de NVON. Het materiaal komt open beschikbaar voor alle docenten in Nederland op Wikiwijs in samenwerking met Kennisnet. Voor dit project is subsidie onder het Groeifonds project Impuls Open Leermateriaal aangevraagd en voorlopig toegekend. De NVON is penvoerder. Liliane Bouma (zelfstandig adviseur) is de projectleider

Bronnen

- AMTA website: www.modelinginstruction.org
- Whiteboard plakvellen kopen: <https://whiteboard-flipover.nl/magicchart-whiteboard-sheets-60x80-25st>
- Whiteboard kopen: <https://whiteboard-flipover.nl/whiteboard-met-zwart-frame-magnetisch-60x90-cm>
- Artikel: A modeling method for high school physics instruction (Wells et al. 1995): <https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.17849>
- Artikel: Modeling Instruction met simulaties (C. Baars, 2023), NVOX no 9 2023. [22 Modeling Instruction met simulaties NVOX-9-2023](https://www.nvon.nl/nvox/modeling-instruction-in-de-klas)
- Artikel: Modeling Instruction in de klas (Slooten, 2022): <https://www.nvon.nl/nvox/modeling-instruction-in-de-klas>
- Artikel: Modeling Instruction (Van den Berg et al, 2022): <https://www.nvon.nl/nvox/modeling-instruction>
- Artikel: Werken met whiteboards (Slooten, 2019): <https://www.nvon.nl/nvox/werken-met-whiteboards>
- Website Modeling Instruction in High School Sciences (Arizona State University): <http://modeling.asu.edu/modeling-HS.html>
- Artikel: Modeling Instruction Effective Model Science Education (Jackson, Dukerich, Hestenes, 2008): <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ851867.pdf>
- Artikel: Effects of Modeling Instruction Professional Development on Biology Teachers' Scientific Reasoning Skills <https://www.mdpi.com/2227-7102/8/3/119>
- Artikel: Applying Modeling Instruction to High School Chemistry To Improve Students' Conceptual Understanding (Dukerich, 2015) <https://pubs.acs.org.vu-nl.idm.oclc.org/doi/full/10.1021/ed500909w>

1. Kinematica

Practicum videometen treintje



[Practicum videometen treintje - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)



[Coach activiteit - Videometen treintje](#)



Ikea treintje Lillabo (<https://www.ikea.com/nl/nl/p/lillabo-locomotief-op-batterijen-50320056/>)

Onderwerp: Eenparige beweging

Docentenhandleiding

Omschrijving

In deze activiteit gaan leerlingen leren hoe ze met videometen een grafiek kunnen maken van de beweging van een speelgoed treintje. Het is bedoeld voor leerlingen die (bijvoorbeeld in de onderbouw) al een keer het practicum over de beweging van een treintje al gedaan hebben. Met deze activiteit herhalen ze wat ze weten over plaats,tijd- en snelheid,tijd- grafieken en oefenen ze met het opstellen van een vergelijking voor beweging. Tot slot wordt de representatie van de bewegingskaart geïntroduceerd.

Leerdoelen

- Een videometing kunnen ijken en uitvoeren.
- Een beweging in woorden beschrijven (herhaling)
- Een snelheid,tijd grafiek kunnen maken van een voorwerp met constante snelheid. (herhaling)
- Een vergelijking opstellen bij een plaats,tijd-grafiek.
- Een bewegingskaart kunnen maken

Voorkennis

- Geoefend met het opstellen van vergelijkingen bij lineaire grafieken.
- Eerder geoefend met plaats,tijd-grafieken en snelheids,tijd-grafieken

Benodigheden

- Laptops met Coach 7
- Activiteit 'videometen treintje'

Klassikale introductie van het practicum

- Als de groep niet eerder met Coach heeft gewerkt, laat dan duidelijk zien hoe het programma start en waar ze de activiteit kunnen ophalen. Laat ook zien wat de verschillende vensters zijn en wat ze doen.
- Leg uit dat ze eerst metingen gaan doen met het programma en dan de beweging op verschillende manieren gaan representeren op het whiteboard.
- Laat zien welke representaties van de beweging uiteindelijk op het whiteboard moeten komen (beschrijving in woorden, plaats,tijd-grafiek, vergelijking, snelheids,tijd grafiek en het 'spoor'. Het spoor is een knop in Coach waarmee je alle meetpunten van de videometing zichtbaar kan maken. Dit introduceer je niet: in de instructie staat welke knop ze moeten hebben. Leerlingen kunnen zelf nadenken over wat de betekenis is van dit spoor).

Uitvoering

- Leerlingen volgen de instructies in het opdrachten scherm. In de instructievideo (gebaseerd op een video van Onne van Buuren) staat toegelicht hoe ze bijvoorbeeld metingen kunnen doen, de video kunnen ijken en de grafiek uit kunnen lezen.
- Leerlingen zullen hulp nodig hebben met het programma.

Organisatie (optioneel)

Tijdsplanning:

- Leerlingen kunnen de metingen in tweetallen doen, zodat ze allemaal voldoende werk hebben.
- Leerlingen werken ongeveer 15 minuten aan het doen van de metingen en 10 minuten aan het opmaken van het whiteboard. Daarna wordt het practicum besproken in de kring.

Klassenorganisatie

- Vraag leerlingen om groepjes van 3 of 4 te vormen om de whiteboards te maken.

Inhoud kringgesprek

- Wat betekent de helling? Heb je daar bewijs voor (eenheden)?

- Wat betekent het snijpunt met de y-as?
- Wat stelt het 'spoor' voor?
- Als je alleen het spoor ziet, weet je dan in welke richting de trein bewoog?
- Hoe heb je de v,t-grafiek gemaakt?

Inhoud logboek (optioneel)

- Laat ze een overzicht maken van verschillende representaties van beweging met constante snelheid.

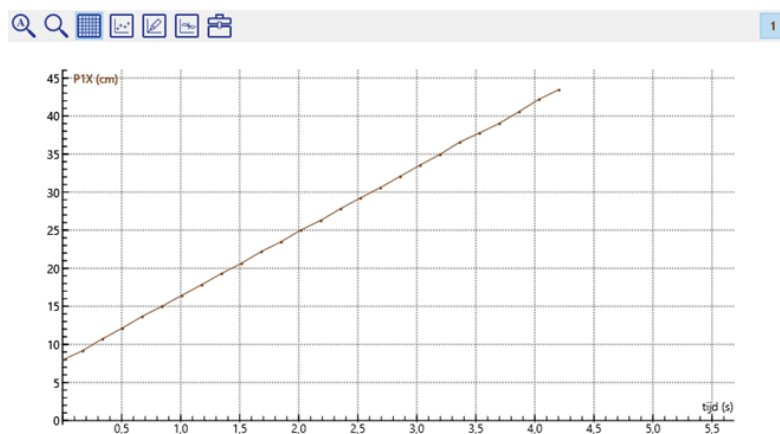
Voorbeeld resultaten (optioneel)

In woorden: het treintje verplaatst zich van links naar rechts met een constante snelheid. Hij begint op 8,0 cm rechts van de oorsprong.

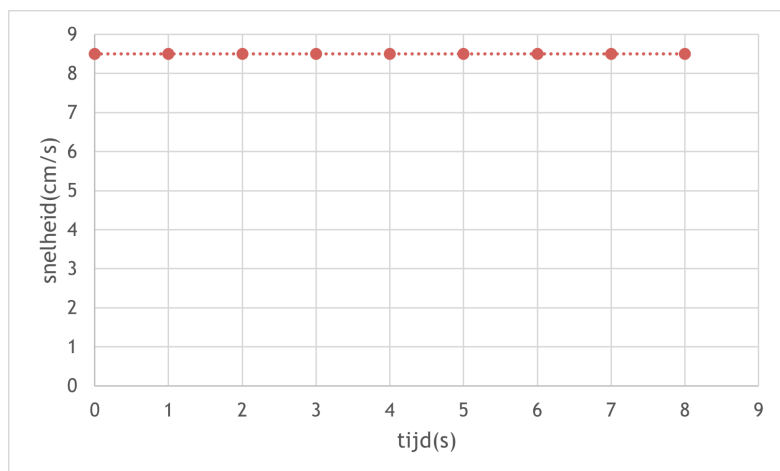
$$\text{Plaats} = 8,5 \cdot \text{tijd} + 8,0$$

Spoor:

+ + + + + + + + + + +



Voorbeeld x,t-grafiek



Voorbeeld v,t-grafiek

Practicum botsende treintjes



[Practicum botsende treintjes - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)

Onderwerp: Eenparige beweging

Docentenhandleiding

Omschrijving

In deze activiteit passen leerlingen toe wat ze hebben geleerd over constante snelheid. Ze krijgen twee treintjes per groep (een snelle en een langzame) en mogen hier metingen aan doen. Daarna zullen de treintjes een bepaalde afstand uit elkaar worden gezet en op elkaar af rijden. Hun opdracht is te voorspellen waar dit gaat gebeuren en op die plek een stukje schilderstape op de vloer te plakken. Dit probleem kan met verschillende representaties van het constante snelheid model worden opgelost.

Leerdoelen

- Het toe kunnen passen van verschillende representaties van het constante snelheid model voor het oplossen van een praktisch probleem.

Voorkennis

- Leerlingen moeten bewegingen met een constante snelheid kunnen representeren als x,t-grafiek, als bewegingskaart en als formule.

Benodigheden

- Twee ikea treintjes (LILLABO locomotief op batterijen). Bij één van deze treintjes vervang je één batterij door een leeg exemplaar, die je omwikkeld hebt met aluminium folie. Hierdoor wordt hij langzaam.
- Linialen
- Stopwatches
- Whiteboards, markers en doekjes
- Schilderstape
- Lang meetlint.

Klassikale introductie van het practicum

- Leg het doel van het practicum uit. Geef niet te veel instructie: het 'hoe' is helemaal aan de leerlingen.
- Geef wel aan dat ze whiteboards kunnen gebruiken om met elkaar te overleggen.
- Geef aan dat ze 5 minuten krijgen om te meten. Daarna moeten ze hun treintjes inleveren met een briefje met hun naam erbij. Zo kunnen ze hun eigen treintjes terugvinden.

- Pas dan krijgen ze te horen hoe ver de treintjes uit elkaar zullen worden gezet. Ze krijgen 10-15 minuten de tijd om uit te werken waar ze gaan botsen. Ze markeren deze plek met een stuk schilderstape.

Uitvoering

- Zet van te voren (of tijdens het werken) een baan uit van ongeveer 2,5 m lang. Dit kan met een strook schilderstape. Het is handig om groepjes te nummeren en deze nummers op de strook schilderstape te schrijven. Zo krijgt ieder groepje een eigen plek om de treintjes neer te zetten.
- Zorg dat leerlingen niet te vroeg weten hoe ver de treintjes uit elkaar staan. Anders gaan ze het gewoon uitproberen.

Organisatie (optioneel)

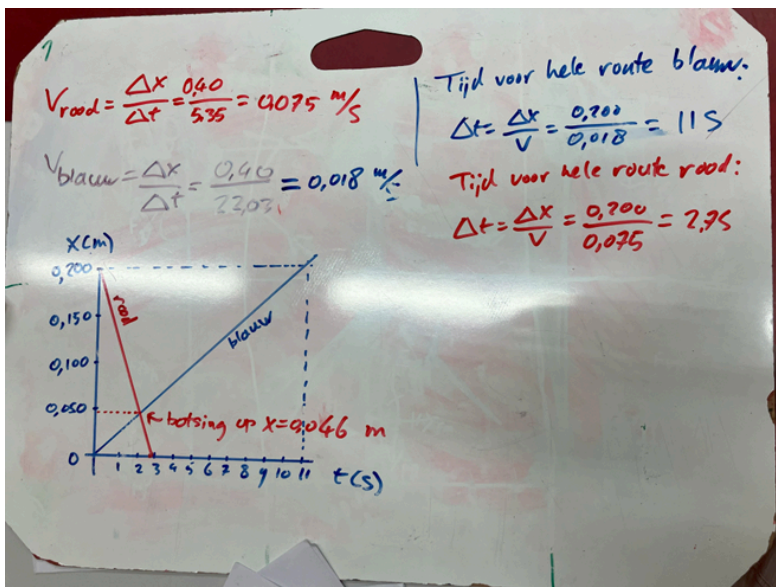
Tijdsplanning:

- Leerlingen mogen 5 minuten metingen doen aan hun treintje. Vertel ze niet wat ze moeten meten.
- Daarna wordt de baanlengte bekend gemaakt. Leerlingen mogen 10-15 minuten werken om de plaats van de botsing te bepalen.
- Zet ieder groepje op een eigen plek. Laat de groepjes één voor één de treintjes starten, zodat goed te zien is wie goed heeft voorspeld

Inhoud kringgesprek

- Welke verschillende oplossingsmethodes waren er?
- Wat waren de voor- en nadelen van deze methodes?

Voorbeeld resultaten (optioneel)



Voorbeeld van een leerling uitwerking.

Practicum videometen kar van een helling



[Practicum videometen kar van een helling - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)



[Coach activiteit - Videometen kar van een helling](#)

Docentenhandleiding

Omschrijving

In deze activiteit gaan leerlingen leren hoe ze met videometen een grafiek kunnen maken van de beweging van een karretje die van een helling af rijdt. Met deze activiteit maken ze voor het eerst van een versnelde beweging een plaats,tijd diagram, een snelheid,tijd diagram en een formule die bij het laatste diagram past. Voor het maken van het v,t-diagram wordt de raaklijn methode geïntroduceerd. In de nabespreking ligt de nadruk op de betekenis van de richtingscoëfficiënt van de v,t-grafiek. Deze les kan over twee lessen van 50 minuten worden gespreid.

Leerdoelen

- Een videometing kunnen ijken en uitvoeren, voor een beweging langs een helling (hiertoe met het assenstelsel worden gedraaid).
- Begrijpen hoe de raaklijn methode gebruikt kan worden om de snelheid op één tijdstip te bepalen.
- Een snelheid,tijd grafiek kunnen maken met behulp van de 'helling' tool in Coach.
- Een vergelijking opstellen bij een snelheid,tijd-grafiek.
- De betekenis achterhalen van de richtingscoëfficiënt van de snelheid,tijd-grafiek.

Voorkennis

- Geoefend met het opstellen van vergelijkingen bij lineaire grafieken.
- Vertrouwd met het constante snelheid model, gerepresenteerd als plaats,tijd-grafiek, snelheid,tijd-grafiek en als formule.

Benodigdheden

- Laptops met Coach 7
- Activiteit 'videometen kar van een helling'

Klassikale introductie van het practicum

- Herhaal kort wat de verschillende vensters in de activiteit voorstellen. Er staan twee nieuwe in (de datatabel en de v,t -grafiek). Ze zijn pas nodig bij het maken van de v,t -grafiek, dus je kunt ze ook later introduceren.
- De activiteit bestaat uit twee delen. Eerst maken de leerlingen een plaats,tijd-grafiek van de beweging. Deze worden op whiteboards gezet en besproken. De raaklijnmethode wordt geïntroduceerd voor het bepalen van de snelheid op één tijdstip. Daarna maken ze, met deze methode, een snelheid,tijd grafiek én een formule die bij deze grafiek past. Ook deze worden op whiteboards gezet en besproken.
- Wijs de leerlingen er op dat de handleiding ze een extra stap laat zetten bij het ijken van de grafiek, omdat de beweging schuin loopt en het dus handig zou zijn als hun assenstelsel ook schuin loopt.

Uitvoering

- Leerlingen volgen de instructies in het opdrachten scherm. Sommigen zullen denken al te weten hoe het werkt en de handleiding niet lezen.
- Als de vorige videomeet activiteit al is gedaan, dan gaat het eerste deel (maken van een plaats,tijd-grafiek) vrij snel.
- In het tweede deel is het soms lastig dat de leerlingen niet tegelijk de opdrachten kunnen lezen en de helling tool kunnen gebruiken. Je kan dit oplossen door de instructies te printen.

Organisatie (optioneel)

Tijdsplanning:

- Leerlingen werken ongeveer 10 minuten aan het maken de plaats,tijd-grafiek en 5 minuten aan het maken van het whiteboard. Daarna wordt het practicum besproken in de kring. Als er tijd over is kunnen ze alvast de snelheid,tijd-grafieken en formule gaan maken. Als er weinig tijd is kunnen ze alleen de snelheden meten en de grafieken en formule thuis doen.
- In de volgende les worden de snelheid,tijd grafieken en formules op whiteboards gezet (5 minuten). Deze worden in de kring besproken. Aanvullend volgen een paar oefeningen met het begrip 'versnelling'.
- Tot slot kunnen de leerlingen aantekeningen maken over de betekenis van de richtingscoëfficiënt van een snelheid,tijd-grafiek in hun logboek.

Klassenorganisatie

- Leerlingen kunnen de metingen in tweetallen doen, zodat ze allemaal voldoende werk hebben.
- Vraag leerlingen om groepjes van 3 of 4 te vormen om de whiteboards te maken.

Inhoud kringgesprek

Gesprek 1: bespreken plaats,tijd-grafieken

- Wat gebeurt er met de snelheid tijdens het experiment?
- Hoe zie je dat in de grafiek?
- Hoe bepaal je de 'gemiddelde' snelheid? Maakt het uit welke definitie je gebruikt?

Opdracht: Teken een afstand,tijd-grafiek (in hetzelfde assenstelsel) van een voorwerp:

- - Met een constante snelheid én
 - Met dezelfde gemiddelde snelheid
- Is 'gemiddelde snelheid' een handig begrip om de beweging van beide voorwerpen te vergelijken?

Hierna introduceer je een manier om de snelheid op één tijdstip te bepalen: teken de 2^e grafiek voor steeds kleinere intervallen. Uiteindelijk teken je de 2^e grafiek voor een interval waarop de begin- en eindtijd hetzelfde zijn: je tekent dus een raaklijn op één tijdstip. Daarna gaan de leerlingen zelf aan de gang om met de helling tool de snelheden op een paar tijdstippen te bepalen.

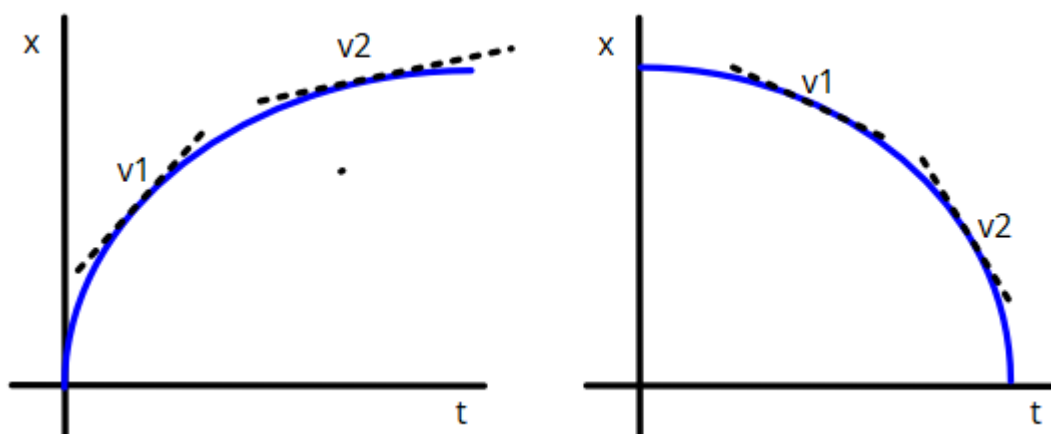
Gesprek 2: bespreken snelheid,tijd-grafieken en formules

- Wat gebeurt er met de snelheid tijdens het experiment?
- Hoe zie je dat in de grafiek?
- Welke helling heb je gevonden?
- Wat is de eenheid van de helling?
- Wat is de betekenis van de helling?
- Kunnen we een algemene formule maken voor:
 - Snelheid van een auto die begint met $v_{begin} = 0$?
 - Snelheid van een auto die begint met $v_{begin} > 0$?

Werk bij deze bespreking toe naar de formulering van de formule voor versnelling met delta notatie:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t \text{ of } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Hierna krijgen de leerlingen twee grafieken te zien:



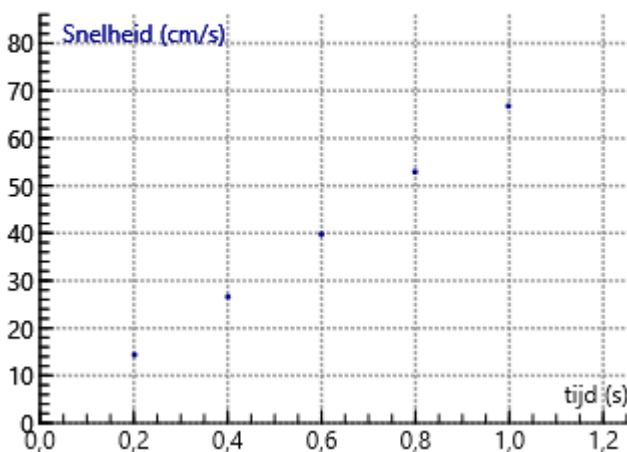
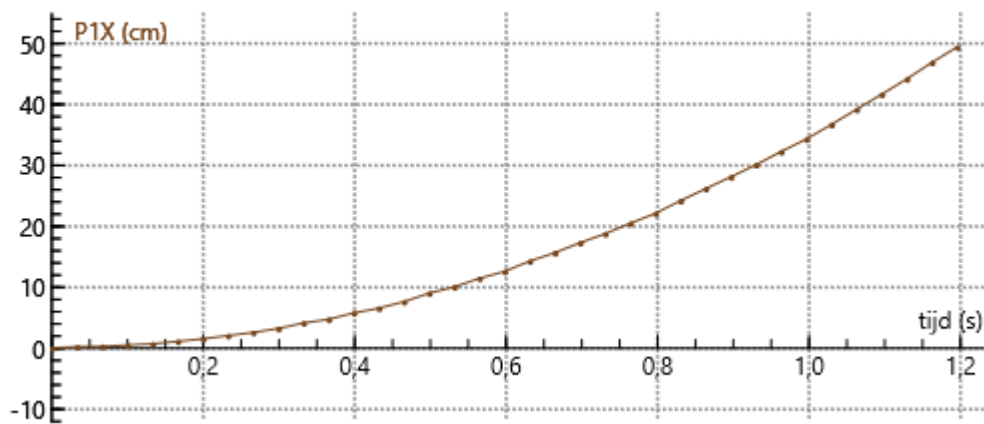
De leerlingen kijken eerst bij beide grafieken welke snelheid het 'grootst' is (bespreek met ze wat dit betekent bij de rechter grafiek, waar de snelheden negatief zijn). Geef daarna wat voorbeeldgetallen en laat ze de versnelling bij beide grafieken uitrekenen. Als ze de definitie van de delta notatie strikt volgen komen ze bij beide grafieken uit op een negatieve versnelling! Bespreek met de leerlingen wat dit betekent.

Inhoud logboek (optioneel)

In eigen woorden opschrijven:

- Hoe de snelheid op één tijdstip bepaald kan worden uit een plaats,tijd-grafiek.
- Welke eenheid de richtingscoëfficiënt van een snelheid,tijd-grafiek heeft en welke betekenis.
- Hoe de plaats,tijd- en snelheid,tijd-grafiek van een beweging met constante versnelling er uit zien.
- Welke algemene formule er bij de snelheid,tijd-grafiek past.

Voorbeeld resultaten (optioneel)



Formule: snelheid = 68 · tijd

Demo - basketbal



[Demo basketbal - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)

Onderwerp: Vrije val beweging

Docentenhandleiding

Omschrijving

Leerlingen representeren de drie bewegingsgrafieken (x,t -, v,t - en a,t) die ze verwachten van een basketbal die vanaf de vloer recht omhoog wordt gegooid en weer naar beneden valt. Hun voorspellingen worden gecontroleerd met de bewegingsdetector. Vervolgens bepalen ze de versnelling van de basketbal tijdens de valbeweging.

Leerdoelen

- Leerlingen kunnen een geobserveerde verticale (val)beweging vertalen naar de drie typen bewegingsgrafieken.
- Leerlingen kunnen de versnelling van een vallend voorwerp bepalen uit een v,t -grafiek
- Leerlingen weten dat alle voorwerpen die vallen op Aarde (mits wrijving kan worden verwaarloosd) dezelfde (val)versnelling ondervinden.

Voorkennis

- Leerlingen kunnen een geobserveerde horizontale beweging vertalen naar de drie typen bewegingsgrafieken.
- Leerlingen kunnen de versnelling van een horizontaal bewegend voorwerp bepalen uit een v,t -grafiek

Benodigheden

- Basketbal
- Twee bakstenen
- Bewegingssensor

Als de genoemde spullen in klassensets aanwezig zijn kan deze demo ook als practicum worden gegeven.

Klassikale introductie van de demonstratie

- Leg de bewegingssensor tussen de twee bakstenen, zodat de basketbal de sensor niet kan raken.
- Demonstreer de beweging (zonder te meten): gooi de basketbal recht omhoog en vang hem weer op als hij op te stenen is gestuiterd.
- Deel de groepjes in en laat de leerlingen de whiteboards pakken.
- Geef de leerlingen de opdracht om het whiteboard met een verticale streep in tweeën te delen. Links schetsen ze hun voorspellingen van de x,t -, v,t - en a,t - grafieken van deze beweging. Rechts schetsen ze straks de gemeten grafieken.
- Laat de leerlingen de grafieken voorspellen.

Uitvoering

- Geef een paar minuten de tijd, zodat de leerlingen in groepjes kunnen overleggen. Laat daarna de borden opstellen aan de randen van het lokaal (op kasten, tegen de muur, tegen statieven) zodat alle voorspellingen zichtbaar zijn.
- Bespreek kort verschillen tussen de borden

- Voer de meting uit met het Coach bestand 'basketbal en bewegingsdetector.cma7'. Er staat bewest geen a,t-grafiek in. Deze geeft zoveel ruis dat je er weinig uit op kunt maken. Beredeneer hoe de a,t-grafiek zou moeten zijn op grond van de richtingscoëfficiënt van de v,t-grafiek.
- Laat leerlingen de gecorrigeerde versie op het bord noteren. Bespreek de afwijkingen. Probeer met de klas een conclusie te bereiken over hoe de basketbal beweegt als je handen los zijn van de bal.
- Bespreek kort wat voor objecten een zelfde beweging zullen uitvoeren en welke niet.
- Deel een v,t-grafiek van een voorwerp in vrije val uit (zie document 'vt grafiek van vrije val beweging coach.docx of print de zojuist gemaakte v,t-grafiek uit). Laat leerlingen de valversnelling bepalen.
- Laat de leerlingen een algemene formule maken voor het berekenen van de snelheid van een voorwerp in vrije val ($\Delta v = 9,81 \cdot \Delta t$).

Organisatie (optioneel)

Tijdsplanning:

- 45 minuten voor de hele activiteit

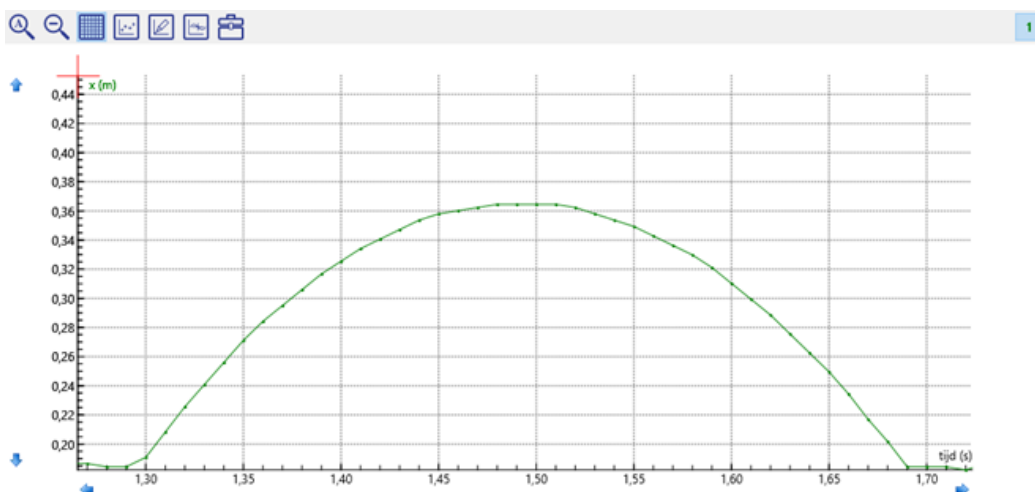
Inhoud kringgesprek

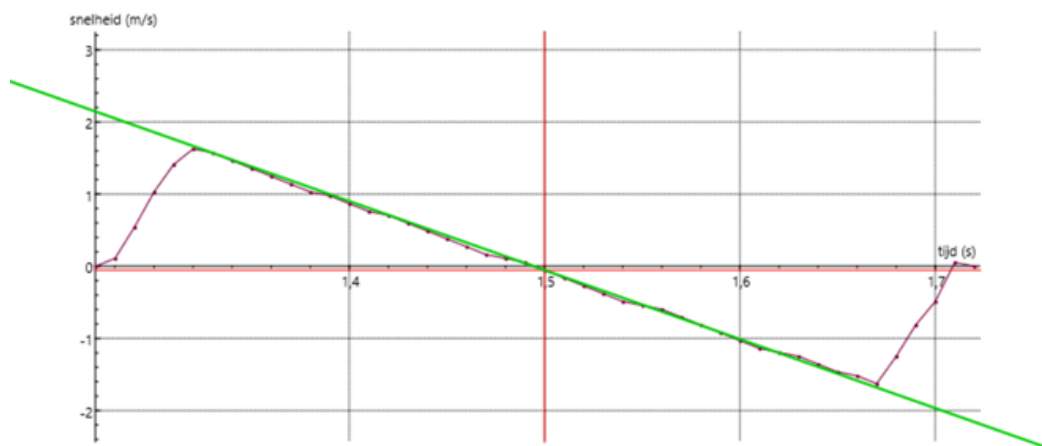
- Bij deze activiteit is het handig om korte besprekingen tussendoor te doen en dus niet af te sluiten met één kringgesprek aan het eind.

Inhoud logboek (optioneel)

- Schets de drie grafieken van een voorwerp die omhoog wordt gegooid vanaf de vloer en weer opgevangen wordt op de vloer:
 - De x,t-grafiek
 - De v,t-grafiek
 - De a,t-grafiek
- Leg uit wat we bedoelen met de valversnelling op Aarde.
- Neem over: Symbool voor valversnelling: g
 Waarde op Aarde: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (te vinden in Binas tabel 7)
- Geef een algemene formule voor het berekenen van de snelheidstoename van een vallend voorwerp.

Voorbeeld resultaten (optioneel)





| | | | | |
|---------|----------|-----------|------------|-------|
| Meting: | Run 1 | tijd: | < 1,500 > | s |
| Var.: | snelheid | snelheid: | < -0,05 > | m/s |
| | | Helling: | < -9,561 > | m/s/s |

2. Mechanica

1. Demo: Soorten krachten



[Demo soorten krachten - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)



[Krachtentabel](#)

Onderwerp: Krachten

Docentenhandleiding

Omschrijving

Deze demonstratie heeft als doel om leerlingen het vocabulaire eigen te maken dat hoort bij het praten over krachten. Ze moeten zich realiseren wat er in de natuurkunde met krachten wordt bedoeld (duwen of trekken) en dat krachten altijd interacties zijn tussen twee voorwerpen. Verder zullen we de krachten die vaak voorkomen benoemen.

Dit is niet per se een typische Modeldidactiek les, want de leerlingen onderzoeken weinig zelf. Het helpt echter wel om het hoofdstuk krachten mee te beginnen, omdat leerlingen dan met dezelfde woorden als hun docent over krachten kunnen praten.

Leerdoelen

Leerlingen kunnen van de volgende krachten aangeven wanneer hij optreedt, welke twee voorwerpen een interactie hebben, welk symbool ervoor wordt gebruikt en (bij een paar) welke formule we ervoor gebruiken:

- zwaartekracht
- veerkracht
- spierkracht
- spankracht
- normaalkracht
- luchtwrijving
- schuifwrijving
- rolwrijving

Voorkennis

Geen, zie Vegting (1986) voor een goed overzicht van denkbeelden die leerlingen hebben over krachten bij de start van mechanica lessen.

Benodigdheden

- (Voor veerkracht) Veer met gewichtje aan een statief
- (Voor normaalkracht)
- Een gewicht
- Een rubber vel
- Een flexibele plank
- Een laserpointer in een statief
- Een kleine spiegel
- (Voor schuifwrijving) een stuk schuimrubber

Klassikale introductie

Vraag leerlingen naar hun eigen definitie van het begrip 'kracht'.

Bespreek met de leerlingen wat er in de natuurkunde met een kracht wordt bedoeld. Een goede werkdefinitie is: een kracht is een wisselwerking tussen twee voorwerpen, altijd een kracht van op Zwaartekracht op een bal: $F_{\text{Aarde op bal}}$.

Je kunt ervoor kiezen om de derde wet van Newton ter sprake te brengen: De interactie werkt altijd twee kanten op, er is ook $F_{\text{bal op Aarde}}$ maar die werkt dus op het andere voorwerp. Dus je kunt die twee nooit optellen.

Laat leerlingen in hun logboek een tabel maken of deel de tabel in het document 'krachtentabel' uit.

Uitvoering

Laat leerlingen verschillende krachten noemen. Bespreek met ze in welke richting deze krachten werken, welke twee voorwerpen een interactie hebben (meestal een 'object' en iets anders) en op welk van die twee voorwerpen de kracht werkt, wanneer deze kracht optreedt en welk symbool ervoor wordt gebruikt. Of ze al formules kennen voor deze krachten hangt af van hun voorkennis. Vul in wat ze al weten, laat de rest leeg.

Een uitwerking is te vinden in het document 'krachtentabel uitwerking'.

Voor veerkracht:

- Laat zien dat een gewichtje een veer uitrekt ($F_{\text{gewichtje op veer}}$). Bespreek in welke richting de veerkracht zal werken ($F_{\text{veer op gewichtje}}$). Bespreek ook dat een touwtje niet veel anders is dan een heel stijve veer. Laat bijvoorbeeld een veer, dan elastiek, en dan touw zien.

Voor normaalkracht:

Laat zien dat een gewicht een rubber vel kan indeuken. Vraag de klas of het vel kracht uitoefent (Ja!). Hoe weet je dat? (Het vel deukt in en wordt uitgerekt. Het is een soort veer die terug wil veren).

Laat zien dat een gewicht een flexibele plank kan indeuken. Vraag de klas of de plank kracht uitoefent. (Ja, die wordt ook ingedeukt)

Vraag of de tafel wordt ingedeukt als ik daar een gewicht op zet. (Nee, niets van te zien).

Leg de spiegel op tafel (of bijvoorbeeld reflecterend plakband) en laat de laser er schuin van boven op schijnen, zodat je een stip ziet op de muur. Laat zien wat er gebeurt als de spiegel een beetje beweegt.

Ga op tafel staan naast de spiegel en veer een beetje op en neer. Wat gebeurt er met de stip? (Die beweegt?) Hoe kan dat? (De tafel wordt misschien toch een beetje ingedeukt).

Conclusie: normaalkracht is een kracht die ontstaat doordat een oppervlak een klein beetje wordt ingedeukt. (alleen voor de liefhebbers als ze al elektrostatica hebben gehad, atomen worden ietsje dichter bij elkaar gedrukt en dan is er elektrostatische afstoting, in wezen is de normaalkracht een Coulombkracht).

Voor schuifwrijving:

Zet een gewicht op een stuk schuimrubber. Zet met twee stippen op de voorzijde van het schuimrubber: een vlak onder het gewicht en een recht daaronder, vlak boven de tafel. Laat zien wat er met het schuimrubber gebeurt als je het gewicht naar rechts duwt.

Bespreek tot slot hoe krachten worden gelabeld: Belangrijk is dat de leerlingen labels gebruiken van deze vorm: $F_{\text{soort, door object, op object}}$ (bijvoorbeeld: $F_{Z, \text{Aarde op baksteen}}$). Dit is in lijn met de definitie dat krachten interacties zijn. Let er bij komende opdrachten op dat ze deze labels blijven gebruiken.

Het is een optie om met de leerlingen hier de 3^e wet van Newton te bespreken. Alle krachten die van de veerkracht zijn afgeleid (normaalkracht, spankracht, schuifwrijving) zijn ten slotte allemaal reactiekrachten.

Organisatie (optioneel)

Tijdsplanning: 50 minuten

Inhoud logboek (optioneel)

- De leerlingen maken de tabel in hun logboek, zodat ze er komende lessen naar terug kunnen grijpen.

Voorbeeld resultaten (optioneel)

Zie het document 'krachtentabel uitwerking'.

Literatuur

Berg, E. van den, C. van Huis (1998). Krachten tekenen. *NVOX*, 23(1), 18-19.

Berg, E. van den, Emmett, K. (2007). Krachtendiagrammen, begripsproblemen en snelle feedback. *NVOX*, 32(8), 354-356.

Vegting, P. (1986). Kracht, een moeilijk begrip. *NVON Maandblad*, november 1986, p26-31.

2. Demo: Hoverball



[Demo: Hoverball - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)



[Werkblad - boodschappenkarretje](#)

Onderwerp: Krachten

Docentenhandleiding

Omschrijving

Met deze demo onderzoeken leerlingen het verband tussen verschillende soorten beweging (eenparig en eenparig versneld) en de krachten die op voorwerpen werken.

Leerdoelen

Leerlingen kunnen uitleggen dat

- krachten in evenwicht of niet in evenwicht kunnen zijn.
- voorwerpen waarop de krachten in evenwicht zijn eenparig bewegen of stil staan.
- voorwerpen waarop de krachten niet in evenwicht zijn versneld of vertraagd bewegen en/of van richting veranderen.

Voorkennis

- Leerlingen kunnen eenparige en eenparig versnelde beweging representeren als x,t-grafieken, v,t-grafieken, a,t-grafieken en bewegingskaarten (stroboscoopfoto).
- Leerlingen kennen van de volgende krachten de namen en weten wanneer ze optreden:
 - zwaartekracht
 - normaalkracht
 - spankracht
 - spierkracht
 - luchtwrijvingskracht
 - schuifwrijvingskracht

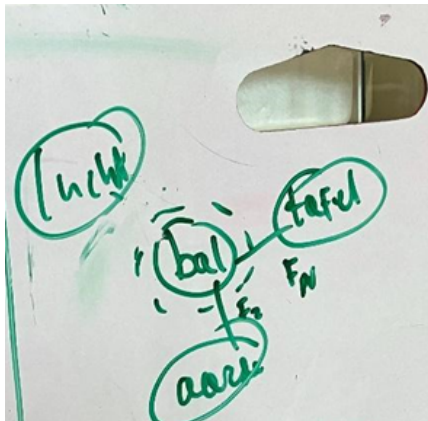
Benodigdheden

- [Hoverball](#)

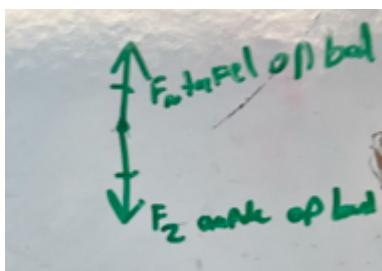
- Paperclip met een touwtje (hiermee maak je touwtje vast aan de bal om hem vooruit te trekken)

Klassikale introductie

- Zet de blazer aan en laat twee leerlingen de bal steeds opvangen en een zet geven.
- Vraag leerlingen de beweging te beschrijven in termen van eenparig en eenparig versneld als:
 - de leerlingen de bal niet aanraken
 - de leerlingen de bal wel aanraken
 - de blazer uit wordt uitgezet en de bal een duw krijgt
 - de blazer weer aan wordt gezet en de docent de hoverball aan een touwtje voorttrekt
- Eventueel kun je filmpjes beeldje voor beeldje laten zien als de leerlingen twifelen over wat voor beweging het precies is.
- Introduceer twee representaties voor het bepalen van de krachten op het voorwerp:
 - Het systeem schema: in dit schema noteren leerlingen de namen van alle voorwerpen in de buurt van de hoverball in cirkels. Tussen voorwerpen die een interactie hebben met elkaar (oftewel: kracht op elkaar uitoefenen) worden lijnen getrokken. Bij de lijnen wordt genoteerd welke kracht er werkt (bijvoorbeeld F_z , F_n , etc.). Een stippellijn geeft aan in welk systeem we nu geïnteresseerd zijn. Ieder lijntje dat de stippellijn kruist is dus een kracht die in het krachtendiagram moet komen (zie hieronder).



- Het krachtendiagram: hierin worden krachten voorgesteld als vectoren. Belangrijk is dat de leerlingen labels gebruiken van deze vorm: $F_{\text{soort, door object, op object}}$ (bijvoorbeeld: $F_{z, \text{Aarde op hoverball}}$). Dit is een uitstekend startpunt om het te hebben over krachten in voorwaartse richting bij constante snelheid. Resultante krachten kunnen in het diagram worden weergegeven als een dikke pijl NAAST het diagram. Zo is duidelijk dat het geen kracht op zichzelf is. Andere vectoren (zoals snelheden en versnellingen) moeten NIET in dit diagram worden getekend.



- Werk als voorbeeld het systeem schema en het krachtendiagram uit op een hoverball waarbij de blazer uit staat en de hoverball stil ligt.

Uitvoering

- Geef de opdracht om, in kleine groepjes op whiteboards, drie kolommen te maken. In de eerste kolom schetsen de leerlingen de v, t -grafieken voor:
 - een hoverball die stil ligt (blazer staat uit)
 - een hoverball die niet wordt aangeraakt en beweegt in de positieve richting (blazer

- staat **aan**)
 - een hoverball die niet wordt aangeraakt en beweegt in de positieve richting (blazer staat **uit**)
 - een hoverball die wordt voortgetrokken met een touwtje in de positieve richting (blazer staat **aan**)
- Laat de leerlingen in kolom 2 en 3 respectievelijk de systeemschema's en de krachtendiagrammen tekenen.

Organisatie

Tijdsplanning:

- 50 minuten

Klassenorganisatie

- Je kan er voor kiezen het practicum in stapjes te delen, waarbij de leerlingen steeds voor één beweging het systeemschema en het krachtendiagram tekenen en deze vervolgens bespreken. In dat geval zetten ze hun borden aan de rand van het lokaal. Je hoeft dan dus geen kring van stoelen te maken. Voordeel is dat leerlingen tussendoor feedback krijgen en vergissingen bij de eerste beweging niet (of minder) voorkomen bij de latere bewegingen.

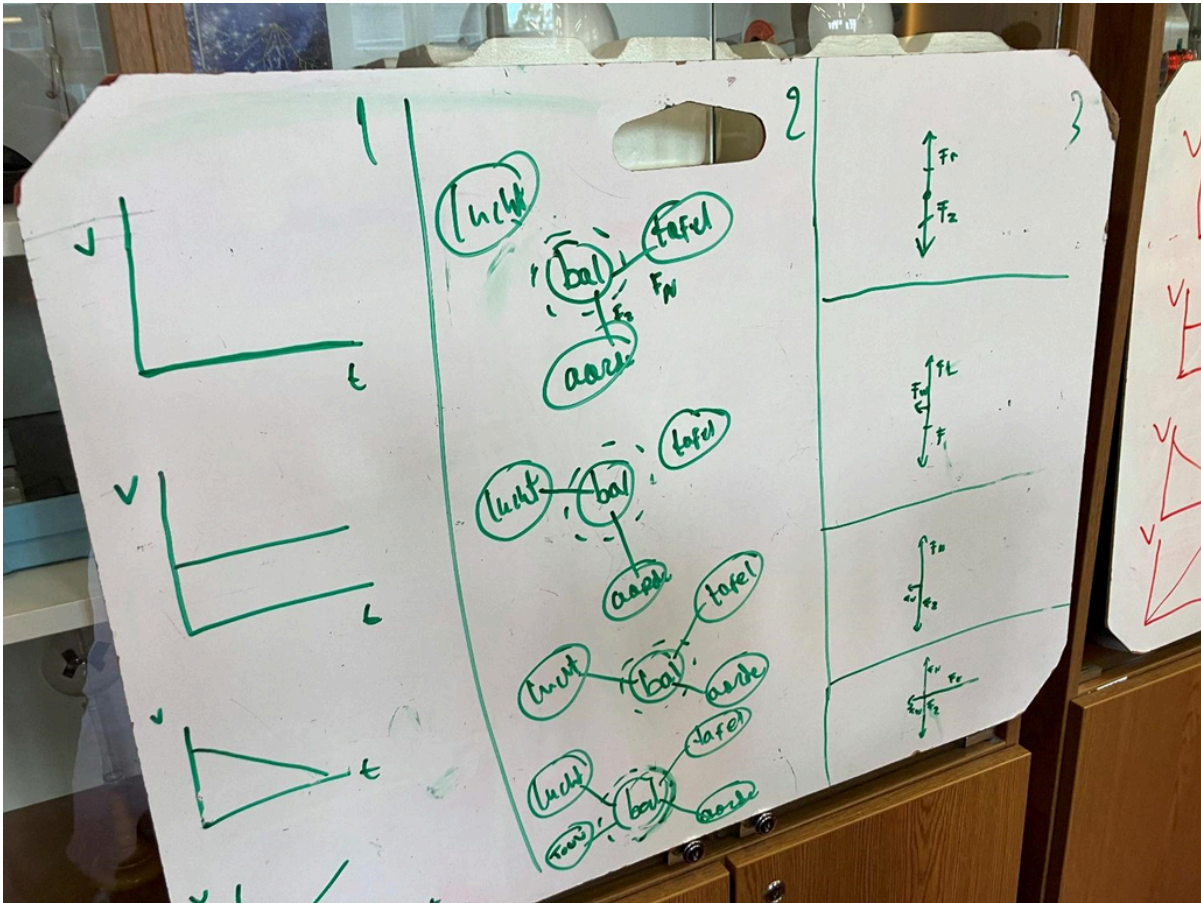
Inhoud kringgesprek

- Leerlingen zullen moeite hebben te benoemen welke kracht de zwaartekracht compenseert als de blazer aan is. Bespreek met ze wat de blazer precies doet en hoe dit kan leiden tot een kracht op de bal. Maak dit niet te uitgebreid: de 3^e wet van Newton is geen leerdoel hier.
- Veel leerlingen zullen krachten tekenen in voorwaartse richting. Vraag naar wat op dat moment die kracht uitoefent. Verwijs naar de systeemschema's (waar als het goed is geen handen in voorkomen).
- Veel leerlingen zullen, omdat ze ook een grote voorwaartse kracht tekenen, een zeer grote luchtwrijvingskracht tekenen. Laat de hoverball even doorgeven, zodat ze het gewicht (en dus de zwaartekracht) erop voelen. Vraag ze om heen en weer te wapperen met hun hand, met een snelheid vergelijkbaar met de hoverball. Is de kracht die je op je hand voelt groter, kleiner of gelijk aan de zwaartekracht op de hoverball (kleiner). Hoeveel kleiner? (Veel kleiner!). Kunnen we hem misschien helemaal verwaarlozen?
- Vraag de leerlingen om te kijken of ze een patroon zien als ze de v,t-grafieken en krachtendiagrammen vergelijken. Leidt ze naar de conclusie dat als de krachten in evenwicht zijn de snelheid niet verandert en dat als de krachten niet in evenwicht zijn de snelheid wel verandert.

Inhoud logboek

- Laat de leerlingen de grafieken, systeemschema's en krachtendiagrammen overnemen.
- Vraag ze om in hun eigen woorden het verband tussen de v,t-grafieken en de krachtendiagrammen te omschrijven.
- Als verwerkingsopdracht kunnen de leerlingen het werkblad 'boodschappenkarretje' maken, waarin ze gevraagd wordt heen en weer te denken tussen verschillende bewegingsrepresentaties en krachtendiagrammen.

Voorbeeld resultaten



3. Practicum Vallende bakjes



[Practicum vallende bakjes - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)



[Sjabloon voor bakjes vouwen](#)



Vallende bakjes practicum

Onderwerp: Natuurkunde is modellen maken

Beschrijving

Wanneer bladeren van bomen vallen of wanneer een vel papier valt, dan gebeurt dat op een tamelijk onvoorspelbare manier. Het boomblad of papier zigzagt naar de grond en het is moeilijk te voorspellen wanneer en waar het zal landen. Maar wanneer we de randen van het papier omvouwen, dan wordt de beweging ineens redelijk voorspelbaar. Het papieren bakje beweegt langzaam en regelmatig naar de grond. Dit is zeker geen vrije val, luchtwrijving speelt een grote rol. Hoe kunnen we deze beweging wiskundig beschrijven in een model? Wat is de invloed van factoren als oppervlakte en massa van het bakje? Hoe kunnen we ons model experimenteel toetsen zelfs zonder een stopwatch? Hoewel deze activiteit met simpele middelen wordt uitgevoerd, illustreert ze precies wat fysisch model-denken is.

N.B. Bij deze versie van de activiteit gaat het om simpel model-denken met simpele middelen en beperkte tijd. De activiteit kan uitgevoerd worden als interactieve demonstratie door de docent of als een practicum van één les. Er is ook een "sophisticated" versie die een veel accurater model oplevert m.b.v. videometen. Dat is een mogelijke PO opdracht voor 5 vwo. Zie de verwijzing naar Wooning, Mooldijk en van der Valk (2003).

Voorkennis

- Beginnerskennis van begrippen als tijd (t), hoogte (h), massa (m), oppervlak (A) en snelheid (v)

Leerdoelen inhoud

- Natuurkunde is modellen maken.
- Wat zijn modellen en hoe worden die door natuurkundigen gebruikt om te voorspellen?
- Welke factoren beïnvloeden de valtijd van papieren bakjes? Hoe kom je tot een simpele maar misschien nog niet perfecte formule?
- Onafhankelijke en afhankelijke variabelen.

Leerdoelen vaardigheid

- Model-denken
- Handig experimenteren zonder apparatuur

Benodigdheden

- Gekleurd A4 papier van 160 g/m^2 (dus iets dikker dan normaal A4), druk daarop van tevoren rechthoeken met de gewenste oppervlakten A , $\frac{1}{2} A$, $\frac{1}{4} A$ af. Zie een sjabloon in de bijlage.
- Schaar
- Nietapparaat met nietjes (eventueel gedeeld tussen groepjes)
- Meetlint
- Enkele voorbeeld bakjes
- Bij 1 beschikbaar lesuur: bakjes van tevoren al in elkaar te nieten en massa en oppervlak erop aangeven.

Klassikale introductie van het practicum

Docent laat wat voorwerpen vallen; een steen, een munt, een blad papier en daarna een papieren bakje. Het papier dwarrelt maar het bakje lijkt heel voorspelbaar te bewegen. Laten we eens kijken naar de tijd t die nodig is om van een bepaalde hoogte h de vloer te bereiken.

Uitvoering/verwerking voor een 45-50 minuten les

1. Klassikale introductie (zie boven).
2. Klassikaal: maak met de klas een lijstje van factoren die mogelijk invloed hebben op de valtijd en vertaal die samen met de klas in een formule. Geef aan dat we gaan onderzoeken wat de invloed is van oppervlak A , hoogte h en massa m op de valtijd t . Bijvoorbeeld: bij een grotere A , wordt t dan groter of kleiner? En m ? En h ? Als we t schrijven als $t = \dots\dots\dots$ komt A dan boven of onder de deelstreep? En m ? Dat wordt een eerste ruwe benadering van de formule, wie weet moet er A^2 staan i.p.v. A .
3. Leerlingactiviteit: In groepjes van 3 onderzoeken leerlingen effecten van factoren als hoogte, oppervlak en massa. Let op dat ze óf massa, óf oppervlak constant houden. Indelen in groepjes die het effect van oppervlak A onderzoeken en groepjes die massa m onderzoeken.
4. Eventuele klassikale interventie halverwege de metingen: zorg dat je of A of m constant houdt en de ander varieert.
5. Het whiteboard verdelen in 3 vlakken met links een tekening van de opzet van de meting, in het midden een tabel met resultaten en rechts de conclusie en resulterende formule.
6. Nabespreking van resultaten die uitkomt op de conclusie dat t evenredig is met A of \sqrt{A} en omgekeerd evenredig met \sqrt{m} . Maar preciezer meten zou nog tot verdere aanpassingen kunnen leiden. Verder communiceren dat natuurkundig onderzoek vaak op deze intuïtieve manier begint en dat de volgende stap is om theorie te gebruiken om mogelijke verbanden in formulevorm te voorspellen (hieruit zal blijken dat t evenredig is met \sqrt{A} en omgekeerd evenredig met \sqrt{m}).

Uitvoering/verwerking voor een dubbel lesuur

1. Klassikale introductie (zie boven).
2. In groepjes van 3: korte 5-minuten brainstorm over welke factoren invloed hebben op de valtijd t en proberen dat in formulevorm te schrijven.
3. Klassikaal: discussie van voorstellen van de groepjes.
4. In groepjes van 3: (eventueel eerst nog benodigde bakjes in elkaar nieten) leerlingen onderzoeken of het verband van t met A , of het verband van t met m . Hun whiteboard bevat links een tekening van de opzet van de meting, in het midden een tabel met resultaten en rechts de conclusie en resulterende formule.
5. Klassikale interventie halverwege de metingen of eerder: even zeker zijn dat leerlingen de juiste variabelen constant houden en de hoogte h handig instellen.
6. In groepjes: doorgaan met onderzoek. Als ze tijd hebben eventueel de andere variabele ook onderzoeken (A of m).
7. Klassikaal: Discussie aan de hand van de whiteboards met twee zaken om te benadrukken:
 1. t is waarschijnlijk evenredig met A of \sqrt{A} en waarschijnlijk omgekeerd evenredig met

- \sqrt{m} . Precieze metingen zouden tot verdere aanpassingen kunnen leiden.
2. Veel natuurkundig onderzoek start op deze intuïtieve manier, maar als we theoretisch al wat meer weten, dan kunnen we ook formules afleiden en die vervolgens experimenteel toetsen.
 8. Eventueel: discussie over het afleiden van het verband met behulp van formules. Hieruit zal blijken dat t evenredig is met \sqrt{A} en omgekeerd evenredig met \sqrt{m} .

Tips

- Het kan efficiënt zijn om groepjes verschillende onderzoekstaken te geven of te laten kiezen. Enkele groepjes onderzoeken dan de invloed van hoogte h , andere groepjes die van oppervlak A , of van massa m .
- Gebruik steeds $\frac{1}{2}$ A4 en knip eventueel stukjes af die je in het bakje doet om m constant te houden. Gebruik ook de voorgetekende A4 (bijlage) voor handige afmetingen.
- Vergelijk de valtijd van een bakje met oppervlak A , massa m van hoogte h vergeleken met $2A$, m van $\frac{1}{2} h$. Als $t \propto A$, dan komen de bakjes tegelijk aan.
- Vergelijk de valtijd van een bakje met A , m van $\frac{1}{2} h$ met A , $2m$ van h . Als $t \propto 1/m$ dan komen de bakjes tegelijk aan. Maar hoe toets je of $t \propto 1/\sqrt{m}$?

Organisatie

- Zie uitvoering met klassikale intro, taak 1, klassikale bespreking, taak 2, klassikale nabespreking.
- Leerlingen werken in groepjes van 3, eventueel met een deeltaak (zie tips).
- Alternatief 1: uitvoeren als interactieve docent demonstratie met korte groepjes discussies.
- Alternatief 2: de gevraagde verbanden onderzoeken door gebruik te maken van een stopwatch. De leerlingen die wat meer uitdaging willen, kunnen dan de opdracht krijgen om de verbanden zonder stopwatch te onderzoeken.

Inhoud kringgesprek

- Bespreek achtereenvolgens de resultaten van leerlingen over de invloed van h , A , en m met behulp van de tabellen op de whiteboards.
- Bespreek technische probleempjes voor zover relevant (vaardigheidsaspecten).
- Kloppen onze conclusies of zou het toch ingewikkelder kunnen zijn?
- Afhankelijke en onafhankelijke variabelen.
- Wat is natuurkunde? Wat hebben we gedaan? Waar is dit nuttig voor?

Literatuur

E. Rogers (1960). *Physics for the Inquiring Mind*. Princeton University Press, p167.

Wooning, J., Mooldijk, A. & van der Valk, T., (2003) Tophoek en snelheid van vallende kegels, <https://natuurkundendidactiek.nl/wp-content/uploads/sites/224/2017/03/hbnd-w-05-03-LSM-4-dhl-mini-pws-vallende-kegels.pdf> Hier is hetzelfde verschijnsel gebruikt voor een uitgebreide 5 vwo onderzoeksopdracht (PO) van ongeveer 10 slu. Er is een grondige fysisch-mathematische beschrijving.

3. Elektriciteit

4. Elektromagnetisme

5. Straling

6. Trillingen en golven



[Trillingen overzicht \(docentenhandleiding - pdf versie\)](#)

Onderwerp: Trillingen

Omschrijving

Deze module bevat lesmateriaal over trillingen. Er is een andere module over golven. De volgende onderwerpen komen aan de orde:

- Veerconstante
- Amplitude
- Trillingstijd
- Relatie plaats, snelheid en versnelling
- Veer-, kinetische en totale energie
- Begrippen transversaal en longitudinaal

De module bevat practica, oefenmateriaal en testen. Niet alle onderdelen hoeven uitgevoerd te worden om het hele onderwerp te behandelen. De leerlingen van de havo hoeven de energiebeschouwing van een massa-veersysteem niet te kennen. De experimenten die hier beschreven staan met een massa-veersysteem kunnen ook worden uitgevoerd met een slinger.

Het verdient aanbeveling om naast dit lesmateriaal ook opgaven uit de lesmethode te maken omdat deze context bevatten wat niet het geval is in dit materiaal.

Domeinen

Trillingen komen bij havo en vwo voor in domein B1. Voor vwo is ook de energiehuishouding in trillingen van belang. Dit is domein C2.2. In deze module worden de volgende domeinen en subdomeinen behandeld:

Havo: B1: 1 en 2

Vwo: B1: 1 en 2 en C2.2.

Voorkennis

Deze module verwacht dat de leerlingen de relaties tussen plaats, snelheid, versnelling en kracht kennen en begrijpen. Daarnaast wordt in dit lesmateriaal verwacht dat de leerlingen ook de begrippen zwaarte-energie, veerenergie en kinetische energie kennen. Leerlingen uit het vwo moeten de energiehuishouding van een trillend systeem kennen, dit geldt niet voor havo-leerlingen. Het is echter mogelijk dat het onderwerp "energie" nog niet behandeld is voordat het onderwerp trillingen aanbod komt. Dan kunnen deze werkbladen/practica overgeslagen worden en op een later moment als herhaling aangeboden worden. Deze delen van het materiaal kunnen dan verwijderd worden voor het afdrukken. De onderdelen W2, W3 en P2 gaan specifiek over de energiehuishouding bij trillingen.

Practica

- P1: Massa-veersysteem.
 - Bepaling veerconstante
 - Invloed amplitude op trillingstijd
 - Invloed massa op trillingstijd
 - Invloed veerconstante op trillingstijd
- P2: Massa-veersysteem
 - Plaats-tijd, snelheid-tijd, versnelling-tijd en kracht-tijd diagrammen
- P3: Massa-veersysteem
 - Veerenergie, kinetische energie, zwaarte-energie en totale energie
- P4: Trillingstijd en frequentie van een stemvork
 - Relatie tussen trillingstijd en frequentie
- P5: Bouw je eigen klok

Werkbladen

- W1: Diagrammen maken van plaats, snelheid, versnelling en kracht tegen de tijd
- W2: Energiebeschouwing van trillende systemen in het horizontale vlak (energie- diagrammen)
- W3: Energiebeschouwingen van trillende systemen in het verticale vlak
- W4: Relatie tussen energie, plaats, snelheid, versnelling en kracht

Quizen en toetsen

- Q1: Uit een gegeven v,t -diagram de overige diagrammen afleiden (inclusief energie) en de energiebeschouwingen van een bungee jumper.

Theorie en oefenbladen

- T1: Afleiding formules voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$
- O1: Op basis van een u,t -diagram vragen beantwoorden over trillingstijd, veerconstante en

formules afleiden voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$.

- O2: Gegevens halen uit een u,t -diagram en de formules voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$ opstellen.

Volgorde materiaal

| Code | Inhoud |
|------|---|
| P1 | Massa-veersysteem: trillingstijd, amplitude, massa, veerconstante |
| | Experiment |

| Code | Inhoud |
|------------|---|
| | <p>Leerlingen krijgen veren van 5 verschillende lengten. Zij onderzoeken de veerconstante van de veren, de trillingstijd van de veren en de relatie tussen amplitude en trillingstijd, massa en trillingstijd, en veerconstante en trillingstijd. De resultaten worden uitgewerkt op de whiteboards en gebruikt in het kringgesprek. In dit practicum wordt ook de natuurkundige naamgeving besproken en wordt de vaktaal geïntroduceerd.</p> <p>Domeinen: Havo en vwo B1.1</p> |
| W1 | <p>Diagrammen maken van plaats, snelheid, versnelling en kracht tegen de tijd</p> <p>Werkblad</p> <p>Leerlingen krijgen een werkblad over een horizontaal massa-veersysteem. Ze moeten schetsen (kwalitatief) maken van de plaats, snelheid, versnelling en kracht op verschillende momenten in de beweging.</p> <p>W1 kan gebruikt worden voor hypothese vorming van experiment P2 of als herhaling van het geleerde in P2.</p> <p>Domeinen: Havo B1.1 en vwo B1.1 en B1.5</p> |
| W1B | <p>Diagrammen maken van plaats, snelheid, versnelling en kracht tegen de tijd</p> <p>Werkblad</p> <p>Leerlingen krijgen een werkblad over een verticaal massa-veersysteem. Ze moeten schetsen (kwalitatief) maken van de plaats, snelheid, versnelling en kracht op verschillende momenten in de beweging.</p> <p>W1B kan gebruikt worden voor hypothese vorming van experiment P2 of als herhaling van het geleerde in P2.</p> <p>Domeinen: Havo B1.1 en vwo B1.1 en B1.5</p> |

| Code | Inhoud |
|-----------|--|
| P2 | <p>Diagrammen van plaats, snelheid, versnelling en kracht tegen de tijd meten</p> <p>Experiment</p> <p>Leerlingen meten met behulp van een afstandssensor een s,t-diagram. Op basis van dit diagram maken de leerlingen met b.v. IP-Coach de bijbehorende v,t en a,t diagrammen. Indien er een krachtsensor is kan deze grafiek ook worden getoond. Tijdens het bespreken van de whiteboards wordt de onderlinge relatie tussen deze diagrammen besproken. Dit experiment kan worden uitgebreid voor vwo met het afleiden van de formule voor de periodieke functie van een trilling en de bijbehorende afgeleiden.</p> <p>Domeinen: Havo B1.1 en vwo B1.1 en B1.5</p> |
| W2 | <p>Energiebeschouwing massa-veersysteem in het horizontale vlak</p> <p>Werkblad</p> <p>Leerlingen onderzoeken met behulp van energiediagrammen de energieopslag in een massaveersysteem. Bij deze energiediagrammen worden steeds twee posities van de trilling met elkaar vergeleken. Er wordt gekeken naar kinetische, zwaarte- en veerenergie</p> <p>Domeinen: vwo C2.2</p> |
| W3 | <p>Energiebeschouwing massa-veersysteem in het verticale vlak</p> <p>Werkblad</p> <p>Leerlingen onderzoeken de uitwisseling van zwaarte, kinetische en veerenergie tijdens het verticaal trillen van een voorwerp. Wat te doen met negatieve zwaarte-energie</p> |

| Code | Inhoud |
|-----------|---|
| | Domeinen: C2.2 |
| P3 | <p>Energiebeschouwing van een massa-veersysteem.</p> <p>Experiment vervolg P2</p> <p>Leerlingen voegen aan de data die is gemeten m.b.v. IP-Coach in P2 extra kolommen toe om de kinetische-, zwaarte- en veerenergie te berekenen. Er wordt vervolgens gekeken naar de totale energie van het massa-veersysteem. Het is mogelijk om de verandering in de zwaarte-energie buitenbeschouwing te laten ter versimpeling.</p> <p>Domeinen: vwo C2.2</p> |
| P4 | <p>Relatie tussen frequentie en trillingstijd van een stemvork</p> <p>(demo) experiment</p> <p>Meet met een microfoon (aangesloten op IP-Coach of een ander programma) de trillingen van stemvorken met verschillende frequentie. Uit de metingen wordt de trillingstijd van 1 trilling bepaald en deze wordt in een grafiek gezet tegen de frequentie van de stemvork. Het omgekeerd evenredige verband tussen f en T kan op deze manier zichtbaar worden gemaakt.</p> <p>Domeinen: havo en vwo B1.1</p> |
| W4 | <p>Relatie tussen plaats, snelheid, versnelling, kracht en energie en de faseverschuiving</p> <p>Werkblad</p> <p>In dit werkblad moeten leerlingen op basis van een x,t diagram de andere diagrammen tekenen (inclusief energie). Daarnaast bevat het werkblad een aantal</p> |

| Code | Inhoud |
|-----------|--|
| | <p>redeneervragen over de relatie tussen frequentie, trillingstijd en veerconstante enerzijds en massa en amplitude anderzijds.</p> <p>Domeinen: havo B1.1 en vwo B1.1 en C2.2</p> |
| P5 | <p>Bouw met een massa-veersysteem zo nauwkeurig mogelijk een klok</p> <p>(afrondend) experiment</p> <p>Leerlingen krijgen een veer met onbekende veerconstante, gewichtjes en een liniaal. Zij moeten een opstelling maken waarmee ze zo nauwkeurig mogelijk 1 minuut kunnen meten.</p> <p>Domeinen: Havo en vwo: B1.1</p> |
| Q1 | <p>Trillingen</p> <p>Quiz</p> <p>Deze quiz omvat vragen die alle behandelde onderwerpen terug laat komen</p> <p>Domeinen: havo B1.1 en vwo B1.1 en C2.2</p> |

Aanvullende informatie en bronnen

Extra activiteiten

| Code | Onderwerp |
|------|--|
| T1 | Uitlegblad met opdrachten over de formules voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$ |
| | Theorieblad met paar oefeningen |
| | Leerlingen krijgen stap voor stap uitgelegd hoe de formules voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$ ontstaan. |
| | Domeinen: Havo B1.5 en vwo B1.5 (gaat verder dan de syllabus) |
| O1 | Oefenen met gegevens halen uit een u,t -diagram en de formules voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$ opstellen. |
| | Oefenblad |
| | Leerlingen krijgen een u,t -diagram en de massa van een massa-veersysteem en moeten met deze gegevens vragen beantwoorden over trillingstijd, veerconstante. Daarnaast moeten ze de formules voor u,t , v,t en a,t opstellen. De antwoorden staan in het document. |
| | Domeinen: vwo B1.5 (gaat verder dan de syllabus) |
| O2 | Oefenen met gegevens halen uit een u,t -diagram en de formules voor $u(t)$, $v(t)$ en $a(t)$ opstellen. |
| | Oefenblad |

| Code | Onderwerp |
|------|---|
| | <p>Leerlingen krijgen een u,t-diagram en de massa van een massa-veersysteem en moeten vragen beantwoorden over de trillingstijd, amplitude en veerconstante</p> |
| | <p>Domeinen: vwo B1.5</p> |

P1 Trillingen

7. Optica

1. Demo: licht



[Demo: Licht - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)

Onderwerp: Optica

Docentenhandleiding

Omschrijving

In deze activiteit zetten de leerlingen hun eerste stap in het opbouwen van een model van licht. Dit wordt gedaan aan de hand van een serie korte demonstratie proeven.

Leerdoelen

Leerlingen kunnen laten zien dat:

- deeltjes (kleine balletjes) veel eigenschappen gemeen hebben met licht:
 - ze komen ergens vandaan (een bron) en gaan ergens naartoe
 - ze bewegen in een rechte lijn
 - ze worden op een zelfde manier weerkaatst tegen een muur
- er ook veel verschillen zijn tussen deeltjes en licht, o.a.:
 - lichtdeeltjes zijn veel kleiner
 - lichtdeeltjes zijn veel sneller
 - lichtdeeltjes wegen niks
- objecten alleen door ons worden gezien als er licht van dat object komt en in ons oog valt.
- objecten licht uitzenden in alle richtingen

Leerlingen leren hoe de volgende dingen er uit zien in een deeltjesmodel van licht:

| Werkelijkheid | Natuurkundig model |
|---------------|----------------------------|
| Lichtstraal | Stroom van deeltjes |
| Licht zien | Deeltjes vallen in een oog |

| | |
|---------------------|---|
| Directe lichtbron | Plek waar de deeltjes vandaan komen |
| Indirecte lichtbron | Plek waar de deeltjes vandaan weerkaatsen |

Voorkennis

Geen

Benodigheden

- Laser
- Rookspray
- Scherm
- Doos
- Lamp, ingepakt in aluminiumfolie

Klassikale introductie van het practicum

- Begin met een brainstorm. Vraag de leerlingen wat licht is. Laat ze eigenschappen van licht opschrijven. Ze zullen o.a. noemen:
 - Licht heeft kleur
 - Licht komt uit een lichtbron
 - Licht kan weerkaatsen tegen een oppervlak
- Zeg de leerlingen dat je een model wil gaan maken van licht. Daarvoor zoek je iets dat er veel op lijkt en waarvan je helemaal snapt hoe het werkt. Dit is een lastige vraag, dus verwacht hier nog niet veel ideeën van ze. Gooi, om ze op een idee te brengen, een balletje tegen de muur.
- Deel de klas in in groepjes. Ieder groepje krijgt een whiteboard. Vraag de leerlingen een analogie tabel te maken:

| Overeenkomende eigenschappen | Niet overeenkomende eigenschappen | Eigenschappen waarvan je niet weet of ze overeenkomen |
|---|-----------------------------------|---|
| ze komen ergens vandaan (een bron) en gaan ergens naartoe | lichtdeeltjes zijn veel kleiner | |
| ze bewegen in een rechte lijn | lichtdeeltjes zijn veel sneller | |
| ze worden op een zelfde manier weerkaatst tegen een muur | lichtdeeltjes wegen niks | |

- Bespreek met de leerlingen of we, op grond van deze tabel, over licht na kunnen denken als

kleine, snel bewegende deeltjes.

- Vraag de leerlingen wat, in een deeltjesmodel, een lichtbron is (lijkt op een ballenkanon) en wat een lichtstraal is (een stroom deeltjes)

Uitvoering

- Vraag de leerlingen hoe wij dingen kunnen 'zien'.
- Zet de laser achter een scherm en laat hem in een doos schijnen. Let er op dat leerlingen niet in de doos kunnen kijken. Vraag de leerlingen of de laser aan staat.
- Laat zien dat hij inderdaad aan staat door je hand in de laserstraal te houden. Bespreek waarom ze nu de rode stip zien. Kom tot een conclusie als: 'We zien alleen iets als er licht in je ogen valt'.
- Bespreek in welke richtingen de lichtstralen van de stip bewegen. Kom tot een conclusie dat, aangezien iedereen de stip kan zien, de lichtstralen in alle richtingen moeten bewegen. Teken dit als een stralendiagram op het bord.
- Laat zien wat er gebeurt als we rook spuiten tussen de laser en de doos. Vraag de leerlingen waarom ze nu wel de straal kunnen zien en hoe het stralendiagram op het bord veranderd moet worden.
- Laat de ingepakte lamp zien. De lamp staat uit. Maak een klein gaatje in het folie. Vraag de leerlingen de lamp te schetsen en te tekenen hoe de lichtstralen lopen die door het gaatje komen. Vraag de leerlingen of ze, met dit model, kunnen voorspellen of slechts één iemand het licht door het gaatje kan zien of dat iedereen in het lokaal dit kan zien.
- Laat zien dat iedereen het gaatje kan zien. Vraag welk stralendiagram juist is.
- Vraag wat het verschil is tussen de lamp (directe lichtbron; geeft zelf licht) en de stip op de hand (indirecte lichtbron; het licht komt ergens anders vandaan). Vraag naar andere voorbeelden van beiden.
- Vraag, als de tijd het toelaat en je de mogelijkheid ervoor hebt, of je ook iets zou kunnen zien als er helemaal geen licht in het lokaal is. Verduister het lokaal volledig (denk aan kieren, lampjes van computers, enz.) en doe het licht uit. De leerlingen zullen zelf ervaren dat je echt helemaal niets ziet.

Organisatie

- Je kunt ervoor kiezen om leerlingen in tweetallen te laten werken op kleine whiteboards of in grotere groepen (3 of 4 leerlingen) op grotere whiteboards. Belangrijk is dat de leerlingen elkaars whiteboards kunnen zien. Dit kan door de whiteboards aan de randen van het lokaal te plaatsen (in de vensterbank, op de demonstratietafel tegen een statief, enz.)

Inhoud logboek

- Laat leerlingen opschrijven hoe de volgende zaken er uit zien in het deeltjes model (zie ook leerdoelen in deze handleiding):
 - Lichtstraal
 - Licht zien
 - Directe lichtbron
 - Indirecte lichtbron

2. Oefenles stralendiagrammen



[Oefenles stralendiagrammen - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)

Onderwerp: Optica

Docentenhandleiding

Omschrijving

In deze les wordt het stralendiagram en de bijbehorende conventies geïntroduceerd. De leerlingen oefenen met opgaven.

Leerdoelen

Leerlingen leren hoe ze de volgende zaken in een stralendiagram kunnen weergeven:

| Werkelijkheid | Natuurkundig model | Stralendiagram |
|---------------------|---|---|
| Lichtstraal | Stroom van deeltjes | Rechte lijn met een pijl |
| Licht zien | Deeltjes vallen in een oog | Lijnen vallen in een oog |
| Directe lichtbron | Plek waar de deeltjes vandaan komen | Plek waar lijnen vandaan wijzen |
| Indirecte lichtbron | Plek waar de deeltjes vandaan weerkaatsen | Plek waar minimaal één lijn aankomt en meer lijnen vandaan wijzen |

Leerlingen leren het stralendiagram te gebruiken om voorspellingen te doen over of iets zichtbaar is of niet.

Leerlingen leren het begrip 'gezichtsveld'.

Voorkennis

- Leerdoelen les 01

Benodigdheden

- Whiteboards

Klassikale introductie van het practicum

- Introduceer het stralendiagram. Benadruk het gebruik geodriehoek en het aangeven van de richting van lichtstralen.
- Geef een voorbeeld om te laten zien wat 'zichtbaar' is voor een waarnemer op een bepaalde plaats. Introduceer de term 'gezichtsveld'.

Uitvoering

- Selecteer een aantal opgaven uit je eigen lesmethode waarbij met stralendiagrammen bepaald moet worden of iets zichtbaar is of niet.
- Leerlingen werken weer in groepjes van 3 of 4. Laat de leerlingen de opgaven eerst op papier uitwerken. (15 à 20 min)
- Laat daarna ieder groepje één opdracht uitwerken op groot whiteboard. Zorg dat er van iedere opgave minimaal twee uitwerkingen zijn.
- Groepjes die klaar zijn plaatsen hun bord aan de randen van het lokaal. Vertel de leerlingen dat ze straks vragen moeten stellen over elkaars borden. Geef leerlingen even de tijd om elkaars borden te bekijken en vragen te bedenken. (5 minuten)
- Vorm daarna een kring. De leerlingen zitten in groepjes bij elkaar en houden hun borden voor zicht.

Inhoud kringgesprek

- Laat de leerlingen benoemen of er verschillen zijn tussen de uitwerkingen. Zo niet, dan zijn we het eens. Anders moet er over gesproken worden.

Inhoud logboek (optioneel)

- Laat leerlingen de conventies voor stralendiagrammen noteren

8. Stoffen en materialen

Practicum Soortelijke warmte (deel 1)



[Practicum soortelijke warmte \(deel 1\) - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)

Docentenhandleiding

Omschrijving

De temperatuur van een vloeistof kan worden verhoogd door er met een verwarmingselement elektrische energie aan toe te voegen. Deze waarneming brachten natuurkundigen in het midden van de negentiende eeuw tot de conclusie dat warmte een vorm van energie is. In dit experiment onderzoeken leerlingen de wiskundige relatie tussen verschillende grootheden die verband houden met de opwarmtijd van water. Er wordt gekeken naar de hoeveelheid energie die nodig is om de temperatuur van één kg water, één graad in temperatuur te laten stijgen; de soortelijke warmte. Er wordt ook rekening gehouden met het rendement van het verwarmen.

Leerdoelen inhoud

- Warmte is energie die wordt uitgewisseld tussen twee systemen die niet in thermisch evenwicht zijn. De energie stroomt van het systeem met een hoge temperatuur naar het systeem met de lage temperatuur.
- Twee objecten zijn in thermisch evenwicht (en hebben dus dezelfde temperatuur) als er geen warmte meer wordt uitgewisseld tussen beide objecten.
- De soortelijke warmte van een materiaal is de hoeveelheid energie die nodig is om één kg van de stof één graad in temperatuur te laten stijgen.

Leerdoelen vaardigheid

- Lijst met praktische vaardigheden
 - De leerling: transformeert resultaten in grafieken
 - stelt relaties vast tussen twee afhankelijke grootheden
 - Leert thermometers aflezen
 - Herhaalt het bouwen van schakelingen
- Lijst met natuurkundige vaardigheden
 - De leerling: stelt relaties vast tussen grootheden
 - stelt een wiskundige vergelijking op bij een combinatie van grafieken
 - kan een natuurkundige vergelijking koppelen aan eigen meetwaarden
 - Leert natuurkundig redeneren tussen model en metingen

Voorkennis

- Het vermogen van een apparaat is een maat voor hoeveel energie er per seconde wordt geleverd.
- Leerlingen weten hoe ze een Ampèremeter en Voltmeter moeten aansluiten en aflezen.
- Het vermogen is de spanning keer de stroomsterkte ($P = U \cdot I$).

Benodigheden

- Joulemeter met verwarmingselement
- Spanningsbron
- Ampèremeter en Voltmeter met aansluitsnoeren
- Maatbeker (voor ongeveer 200 mL water)
- Water
- Stopwatch
- Thermometer
- Eventueel een weegschaal

Meetschema

| Groep | Volume (ml) | Waarin | Vermogen | T _{begin} | Wat |
|-------|-------------|------------|-----------------|--------------------------|---------------|
| A | 150
100 | Joulemeter | P | Kamertemperatuur | Water |
| B | 200 | Joulemeter | P | 0 °C
Kamertemperatuur | Water |
| C | 150 | Joulemeter | 0.25 P
0.5 P | Kamertemperatuur | Water |
| D | 200 | Bekerglas | P | Kamertemperatuur | Water
Olie |

Klassikale introductie van het practicum

- Start met het opwarmen van water in een waterkoker. Zeg de leerlingen dat je trek hebt in een kopje thee. Je hebt de waterkoker tot de nok toe gevuld dus het gaat nog wel even duren voordat je je thee kunt drinken. Vraag leerlingen of ze vooraf kunnen voorspellen hoe lang het gaat duren voordat het water kookt. Welke gegevens heb je nodig om deze vraag te beantwoorden?
- Laat leerlingen, op een whiteboard, een lijst maken met variabelen waar de opwarmtijd vanaf afhankelijk is (P(U en I), ΔT, m).
- Klassikale inventarisatie.

- Laat leerlingen, op een whiteboard, een conceptmap maken waarin ze weergeven welke invloed elke variabele heeft op de opwarmtijd (bijvoorbeeld: Als het vermogen toeneemt, neemt de kooktijd af).
- Klassikale inventarisatie.
- Leerlingen voeren per groepje een reeks observaties uit waarbij de relatie tussen ΔT en de andere variabelen (P en m) kwantitatief wordt onderzocht. Ze kunnen bijvoorbeeld de toegevoerde energie variëren bij dezelfde hoeveelheid water én de massa van het water variëren bij dezelfde hoeveelheid toegevoerde energie. Bij beide experimenten wordt een (T, t) -grafiek gemaakt (meet gedurende 3 minuten).
- Beschrijf de vorm van de grafieken. Wat kun je zeggen over het verband tussen ΔT en het vermogen P ? Wat kun je zeggen over het verband tussen ΔT en de hoeveelheid toegevoerde energie Q ? Wat kun je zeggen over het verband tussen ΔT en de massa m van het water? Stel een wiskundige vergelijking voor gebaseerd op je resultaten.
- Noteer de (T, t) -grafiek bij veranderend vermogen links op het whiteboard (geef daarbij aan welke grootheden constant zijn gehouden en welke waarde deze grootheden hebben), de (T, t) -grafiek bij veranderde massa midden op het whiteboard (geef daarbij aan welke grootheden constant zijn gehouden en welke waarde deze grootheden hebben) en de wiskundige vergelijking rechts op het whiteboard.

Meting leerlingen

- Wijs leerlingen erop dat het handig is om het water tijdens het experiment te roeren.

Klassikale nabespreking

- Laat leerlingen elkaars borden bekijken. Welke overeenkomsten zijn er? Welke verschillen zijn er?
- Geef leerlingen de volgende formule: $Q = P \cdot t = c \cdot m \cdot \Delta T$. Laat ze controleren in hoeverre deze formule lijkt op de wiskundige vergelijking die ze zelf hebben afgeleid. Voldoet deze formule aan wat de leerlingen hebben onderzocht? De betekenis van c komt later.
- In dit experiment hebben leerlingen gezien dat temperatuurverandering evenredig is met de hoeveelheid toegevoerde warmte en omgekeerd evenredig met de massa van het water. Om temperatuurveranderingen te kunnen voorspellen, is het noodzakelijk om te specificeren hoeveel energie nodig is om, per kg stof, een temperatuurverandering van één graad te verkrijgen. Deze hoeveelheid staat bekend als de soortelijke warmte van het materiaal.
- Laat leerlingen de soortelijke warmte van water bepalen met hun resultaten: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$.
- De soortelijke warmte van water is 4190 J/Kg/K. Bespreek waarom de gemeten waarde afwijkt van de werkelijke waarde.

Alternatieve aanpak:

- Laat leerlingen een grafiek maken van T tegen t
- Laat leerlingen bij elkaar gaan zoeken naar extra metingen die passen bij hun experiment
- Laat leerlingen ook die metingen in hun eigen grafiek verwerken
- Laat leerlingen nadenken over $y = a \cdot x + b$ en welke grootheden met wat overeenkomen
- Laat leerlingen nadenken over hoe hun gegevens a of b beïnvloeden en hoe dit samenhangt met het molecuulmodel
- In de kring alle ideeën verzamelen en combineren om een uitdrukking voor b en a af te leiden. De invloed van het "rendement" kan worden gekregen door onderzoek B(2) met D(1) te vergelijken.
- $b = T_b$ en $a = \frac{P \cdot \eta}{m \cdot c}$
- Herschrijf vervolgens bovenstaande formule als: $T - T_b = \Delta T = \frac{P \cdot \eta}{m \cdot c} \cdot t$ Gebruik als

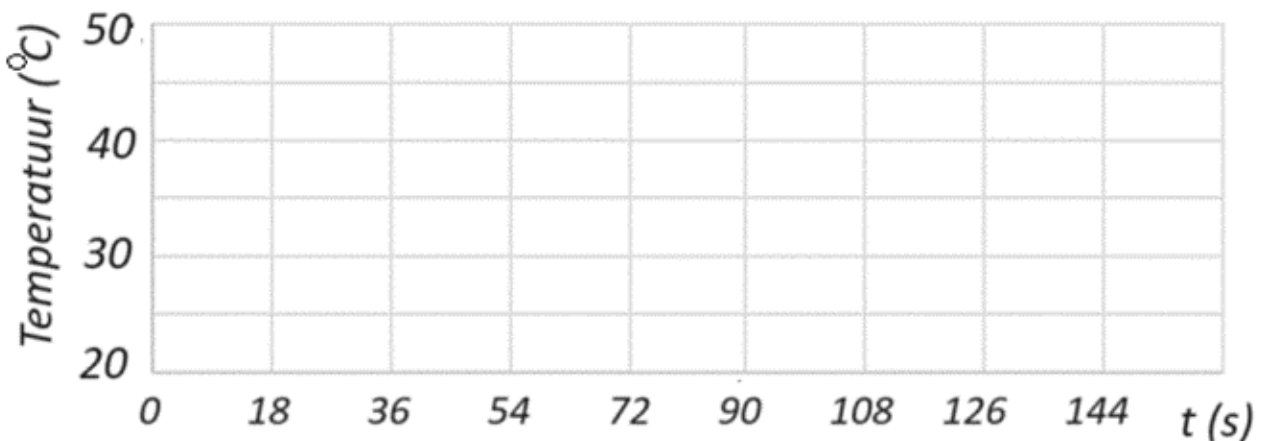
onderbouwing de uitkomst van experiment B.

- Stel vervolgens de vragen: Wat hoort bij het water? Wat hoort bij het apparaat? (denk aan de vergelijking joulemeter versus bekeerglas).
- Herschrijf vervolgens de formule als: $m \cdot c \cdot \Delta T = Q = P \cdot \eta \cdot t$

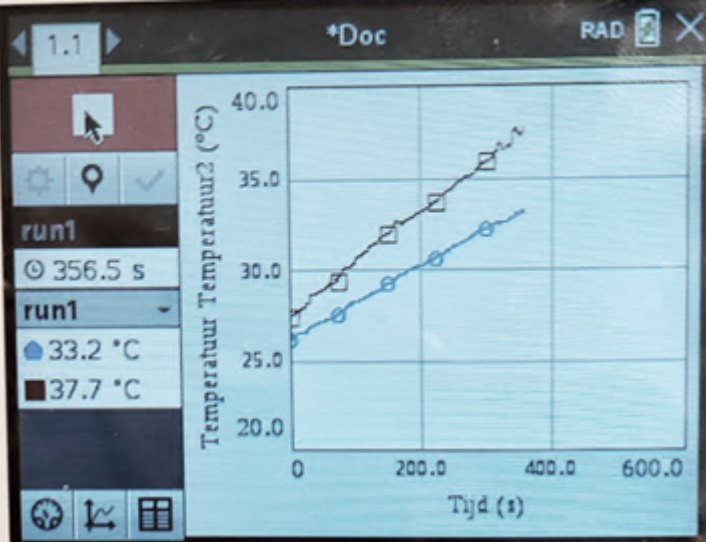
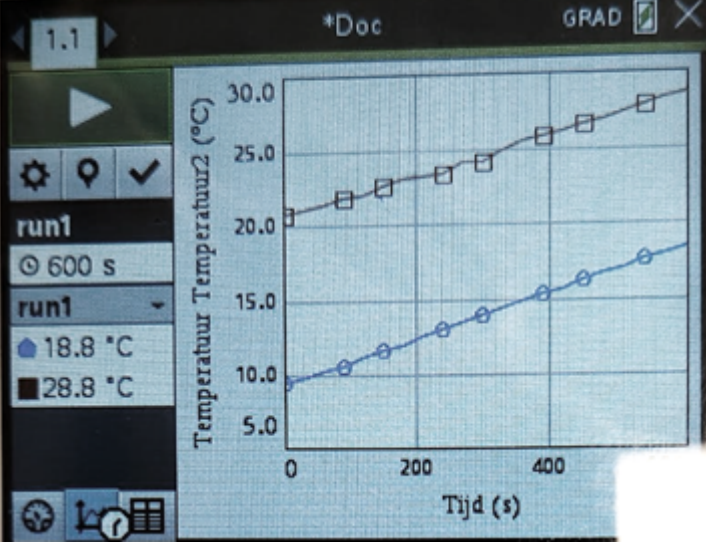
Organisatie

- Benodigde tijd: 50 minuten (kan nog aangepast worden na uitvoeren in les)
 - Klassikale introductie: variabelen noteren en conceptmap (10 minuten)
 - Uitvoeren experiment + opmaken whiteboard (20-25 minuten)
 - Klassikale nabespreking (15-20 minuten)
 - Als er te weinig tijd is voor een gedegen nabespreking, kan de bepaling van de soortelijke warmte van water ook als huiswerk gegeven worden.
- Leerlingen werken in groepjes van drie personen.
- Voor een efficiënte start van de experimenten is het handig om de benodigde hoeveelheden water/olie al klaar te zetten.
- Voor het experiment met water van 0°C is het van belang dat het water (in een bekeerglas) op tijd in een bakje met ijs wordt gezet.
- Voor het goed kunnen trekken van conclusies is het van belang dat de olie en alle water dezelfde begintemperatuur heeft (behalve het water van 0°C).
- Neem als olie een olie met sterk van water verschillende soortelijke warmte.
- Om te controleren of de leerlingen het concept soortelijke warmte en warmteoverdracht hebben begrepen, kan het experiment P2 Soortelijke warmte (deel 2) worden gedaan.

Voorbeeld resultaten



| Experiment | Omschrijving |
|------------|--------------|
|------------|--------------|

| | | |
|---|---|-------------------------|
| A |  | 100 en 150 mL |
| B |  | Kamertemperatuur en 0°C |

Practicum Soortelijke warmte (deel 2)



[Soortelijke warmte \(deel 2\) - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)

Practicum Soortelijke warmte (deel 2)

Docentenhandleiding

Omschrijving

Van twee stoffen die niet in thermische evenwicht zijn, zal de stof met de hoge temperatuur warmte

overdragen naar de stof met de lage temperatuur. De warmtestroom stopt zodra beide materialen dezelfde temperatuur hebben. In dit experiment gebruiken leerlingen hun kennis over de warmtestroom en de soortelijke warmte om zelf een experiment te ontwerpen met als doel de soortelijke warmte bepalen van een onbekend materiaal.

Leerdoelen inhoud

- Toepassen van de verkregen kennis bij experiment P1 Soortelijke warmte (deel 1)
- Begrippenlijst: $Q_{afgegeven} = Q_{opgenomen}$, $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

Leerdoelen vaardigheid

- Leerlingen stellen zelf een werkplan op
- Ze identificeren en selecteren daarbij relevante grootheden

Voorkennis

- Warmte is energie die wordt uitgewisseld tussen twee systemen die niet in thermisch evenwicht zijn. De energie stroomt van het systeem met een hoge temperatuur naar het systeem met de lage temperatuur.
- Twee systemen zijn in thermisch evenwicht (en hebben dus dezelfde temperatuur) als er geen warmte meer wordt uitgewisseld tussen beide objecten. Dit geldt voor materialen in zowel de gasfase, de vloeistoffase als vaste fase.

Benodigheden

- Joulemeter (verwarmingselement is niet nodig)
- Blokjes aluminium (of blokjes van een ander goed geleidend materiaal) verwarmd tot bijna het kookpunt (advies: zet het lesuur ervoor de pan met heet water met de blokjes aluminium klaar)
- Haakje of klem om het massablokje uit het hete water te halen
- Maatbeker (voor ongeveer 200 mL water)
- Water
- Thermometer
- Eventueel een weegschaal
- Stopwatch (deze kun je er voor de vorm bij leggen, hebben ze niet nodig)

Klassikale introductie van het practicum

- Vertel de leerlingen het doel van het experiment: Het bepalen van de soortelijke warmte van het blokje.
- Vertel de leerlingen welke materialen ze mogen gebruiken (zie 'Benodigheden').
- Leerlingen bedenken zelf het experiment, laten dit goedkeuren door de docent en pakken daarna pas de practicumspullen.
- Leerlingen noteren links op hun whiteboard een kort werkplan met een tekening van de opstelling, in het midden een tabel voor de meetwaarden te berekenen waarden en rechts een berekening met een waarde voor de soortelijke weerstand.
- Leerlingen die eerder klaar zijn, kunnen in BiNaS opzoeken van welk materiaal het blokje waarschijnlijk is gemaakt. Welke verklaring hebben ze voor eventuele afwijkingen?

Aanrommelfase leerlingen

- Leerlingen hebben tijd nodig om zelf een experiment te bedenken.

Ontwerp leerlingen

- Leerlingen moeten het experiment goed laten keuren door hun docent om een betrouwbaar resultaat te krijgen. Het is bijvoorbeeld belangrijk om het hete blokje direct in de met water gevulde Joulemeter te stoppen om warmteoverdracht met de omgeving te beperken.
- Sommige groepjes zullen lang bezig zijn met het bedenken van het experiment. Help die leerlingen na 5 minuten een beetje op weg.

Klassikale nabespreking

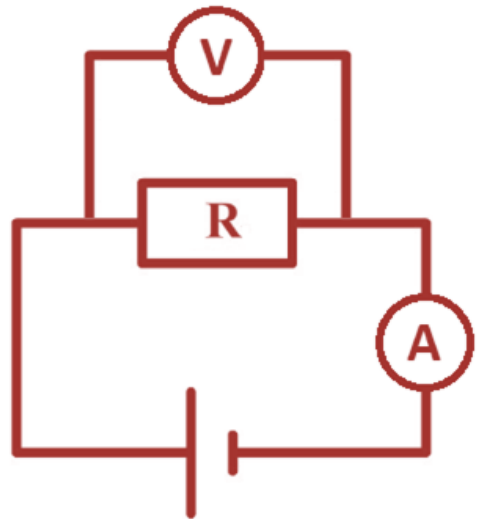
- Leerlingen bekijken elkaars borden. Welke overeenkomsten zijn er? Welke verschillen zijn er?
- Leerlingen hebben allemaal een blokje van hetzelfde materiaal gebruikt: hoe kunnen de verschillen in soortelijke warmte worden verklaard?
- Waar zijn jullie tegenaan gelopen bij het opstellen van het werkplan?
- Welke natuurkundige overeenkomsten en verschillen zijn er als je dit experiment vergelijkt met P2 Soortelijke warmte (deel 1)?
- Tenslotte de vraag 'wat heb je geleerd' over natuurkunde (inhoudelijk) en over experimenteel onderzoek doen (vaardigheden)?

Organisatie

- Benodigde tijd: 50 minuten (kan nog aangepast worden na uitvoeren in les)
 - Klassikale introductie (2 minuten)
 - Ontwerp experiment en door docent laten controleren (10 minuten)
 - Uitvoeren experiment + opmaken whiteboard (20 minuten)
 - Klassikale nabespreking (15 minuten)
- Leerlingen werken in groepjes van drie personen.

9. Practicum leerlijn

Ohmse weerstand



Schakelschema

Docentenhandleiding

Omschrijving

Als de spanning over een (Ohmse) weerstand twee keer zo groot wordt dan wordt de stroomsterkte door deze weerstand ook twee keer zo groot. Het verband tussen de stroomsterkte en de spanning is recht evenredig en dus voldoet een Ohmse weerstand aan de wet van Ohm ($U=I \cdot R$). Met behulp van de schakeling uit figuur 1 maken de leerlingen een (I,U) -diagram van de weerstand. Door dit diagram met de wet van Ohm te combineren, bepalen ze de waarde van de gebruikte weerstand.



Er is ook een andere versie beschikbaar van het practicum Ohmse weerstand. De leerdoelen zijn hier anders.

Leerdoelen inhoud

- Bij een Ohmse weerstand is het verband tussen de stroomsterkte door en de spanning over de weerstand recht evenredig. De Ohmse weerstand voldoet dus aan de wet van Ohm.
- Begrippenlijst: Spanningsbron, stroommeter, spanningsmeter, Ohmse weerstand, $U = I \cdot R$, (I,U) -diagram

Leerdoelen vaardigheid

- Praktische vaardigheden
 - Een schakeling aanvullen met een stroommeter en spanningsmeter voor het meten

- van de spanning over en de stroomsterkte door een component van de schakeling
 - Onderscheid maken tussen afhankelijke en onafhankelijke variabelen
- Natuurkundige vaardigheden
 - Meetresultaten als meetpunten weergeven in een diagram en het verband tussen de twee grootheden tekenen met een rechte grafieklijn door de oorsprong
 - De richtingscoëfficiënt van een rechte lijn in een diagram bepalen
 - Wiskundige vergelijking van een lineaire lijn opstellen, uitgedrukt in natuurkundige grootheden

Voorkennis

- De leerling kan een stroommeter en spanningsmeter op de juiste manier aansluiten en aflezen.
- Een Ohmse weerstand voldoet aan de wet van Ohm.
- De leerling kan een schematische tekening van een schakeling omzetten naar een fysieke representatie van de schakeling. Blijf er als docent alert op dat leerlingen hier fouten mee kunnen maken.

Benodigheden

- Stroommeter
- Spanningsmeter
- Regelbare spanningsbron
- Ohmse weerstand (het maakt niet uit of de groepjes met gelijk of juist verschillende weerstanden werken)
- Snoertjes

Klassikale introductie van het practicum

- Wanneer leerlingen in de onderbouw niet met modeldidactiek hebben gewerkt, maken ze bij dit practicum voor het eerst kennis met deze didactiek. Neem de tijd om het idee achter deze didactiek uit te leggen. Voor meer informatie zie: [Project Modeldidactiek - Bètapartners \(betapartners.nl\)](http://betapartners.nl) en [American Modeling Teachers Association - Transforming STEM Education \(modelinginstruction.org\)](http://modelinginstruction.org)
- Bespreek met de leerlingen het verschil tussen onafhankelijke en afhankelijke variabelen. Welke grootheid is de afhankelijke en welke de onafhankelijke variabele? Op welke plaats in de tabel en grafiek komt de (on)afhankelijke grootheid te staan? Leerlingen hebben een (I,U) -grafiek gemaakt waar de helling $1/R$ voorstelt.
- Het klassikaal herhalen van de wet van Ohm en de Ohmse weerstand is niet nodig. Het activeren van de voorkennis gebeurt middels het practicum.

Aanrommelfase leerlingen

Leerlingen kunnen moeite hebben met het juist aansluiten en aflezen van de stroommeter en spanningsmeter.

Meting leerlingen

Leerlingen kunnen te grote of juist te kleine tussenstapjes nemen waardoor het verband niet goed zichtbaar is en de waarde voor de weerstand onnauwkeurig bepaald wordt. In de leerlinghandleiding worden tussenstapjes van 0,4-0,6V geadviseerd.

Korte klassikale aanwijzingen

- Korte herhaling over het juist aansluiten van de spanningsmeter en stroommeter wanneer veel leerlingen hier moeite mee lijken te hebben.
- Bij het meten van de spanning worden tussenstapjes van 0,4-0,6 V geadviseerd.
- Benadruk dat in de tabel en bij de assen in de grafiek de juiste grootheden en eenheden moeten komen te staan en niet alleen de titels 'afhankelijke grootheid' en 'onafhankelijke grootheid'.
- Er zullen zeker groepjes leerlingen zijn die scheurlijnen gebruiken. Je kunt er bewust voor kiezen minstens één grafiek met scheurlijn te behouden. Dit is een mooi punt voor de discussie.

Klassikale nabespreking

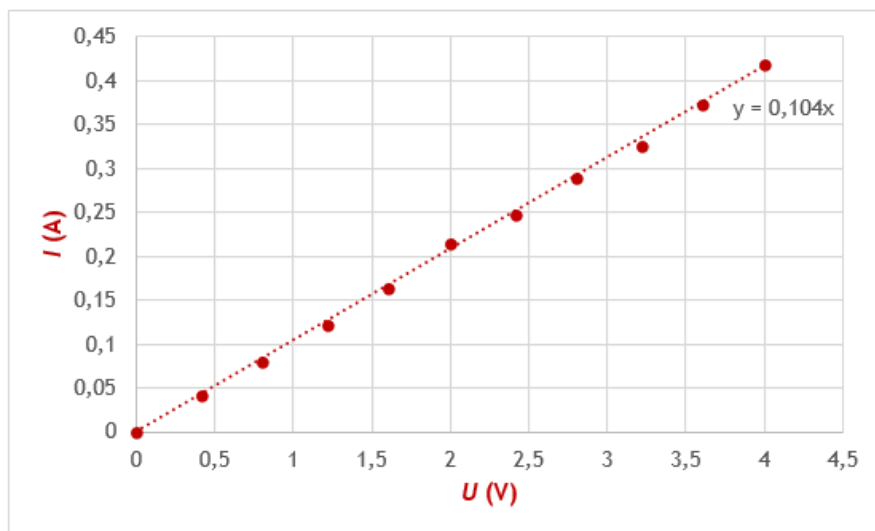
- Geef leerlingen eerst de opdracht om naar elkaars borden te kijken. Welke verschillen zie je? Welke overeenkomsten zie je?
- Welke grootheid is de onafhankelijke en welke de afhankelijke variabele? Kunnen zowel I als U de onafhankelijke variabele zijn? Hoe pas je de uitvoering dan aan?
- Wat is het gevolg van het gebruik van scheurlijnen in de grafiek? In hoeverre is dit gebruik toegestaan gezien het doel van dit practicum?
- Gegevens in de tabel worden door sommige leerlingen afgerond, andere leerlingen noteren metingen in 4 significante cijfers. Is de ene notatie beter dan de andere gezien het doel van dit practicum?
- Sommige leerlingen noteren meetpunten als dikke stip of kruisje in de grafiek. Is dit 'beter' dan het gebruik van een dun stipje?
- Welk verband is er tussen I en U ? Hoe kun je dat zien aan de waarden in de tabel? Hoe kun je dit zien aan de vorm van de grafiek?
- Hoe is de richtingscoëfficiënt zo nauwkeurig mogelijk bepaald? Gebruik je hier één meetwaarde voor of een punt op de trendlijn? Welke optie geeft een nauwkeuriger resultaat?
- Op welke manier wordt de gevonden wiskundige vergelijking (uit de grafiek) gecombineerd met de wet van Ohm om de weerstandswaarde te vinden?
- Hoe bepaal je de eenheid van de richtingscoëfficiënt?
- Optioneel: laat leerlingen het beste bord uitkiezen en de gegevens hiervan netjes in hun schrift overnemen.
- Tenslotte de vraag 'wat heb je geleerd' over natuurkunde (inhoudelijk) en over experimenteel onderzoek doen (vaardigheden).

Organisatie

- Benodigde tijd: 50 minuten (introductie, uitvoering, verwerking, discussie).
- Leerlingen werken in groepjes van drie en geven hun resultaten weer op een whiteboard.
- Klassikale kringbespreking met whiteboards. De leerlingen staan achter hun bord.
- Optioneel: laat leerlingen het beste bord uitkiezen en de gegevens hiervan netjes in hun schrift overnemen.

Voorbeeld resultaten

| U (V) | I (A) |
|---------|---------|
| 0,0 | 0,000 |
| 0,4 | 0,042 |
| 0,8 | 0,082 |
| 1,2 | 0,124 |
| 1,6 | 0,165 |
| 2,0 | 0,215 |
| 2,4 | 0,250 |
| 2,8 | 0,290 |
| 3,2 | 0,325 |
| 3,6 | 0,375 |
| 4,0 | 0,420 |



Uit de grafiek volgt: $y = 0,104 x \rightarrow I = 0,104 U \rightarrow \frac{I}{U} = 0,104 \rightarrow \frac{U}{I} = \frac{1}{0,104} = 9,6$

De wet van Ohm zegt: $\frac{U}{I} = \text{constant} = R$. De weerstand die bij dit practicum is gebruikt heeft dus een waarde van 9,6 Ω .

Wilt u meer informatie over modeldidactiek? Mail dan naar Onne Slooten (oslooten@amsterdams.com)

Wilt u meer informatie over het project? Mail dan naar Liliane Bouma (liliane@lilianebouma.nl)

Horizontale worp



[Practicum horizontale worp - docentenhandleiding \(pdf versie\)](#)



[Horizontale worp Prelab - leerlingenwerkblad](#)



[Horizontale worp Prelab - antwoorden](#)



[Doelwit horizontale worp](#)

Onderwerp: horizontale worp

Docentenhandleiding

Omschrijving

Leerlingen hebben tot nu toe bewegingen in één dimensie beschreven. In dit experiment, dat voorafgegaan wordt door een PreLab, worden twee bewegingen gecombineerd: een horizontale beweging met constante snelheid en een verticale beweging met versnelling g . Leerlingen voorspellen waar een kogel, nadat deze door een PVC-buis is gerold en een horizontale baan heeft beschreven, op de grond terecht komt.

Leerdoelen inhoud

Combineren van twee bewegingen: beweging van een voorwerp dat naar beneden valt onder invloed van een constante kracht (het voorwerp versnelt met de valversnelling) en een horizontaal bewegend voorwerp waar geen krachten op werken (het voorwerp beweegt met een constante snelheid).

Leerdoelen vaardigheid

- Lijst met praktische vaardigheden
 - Nauwkeurig meten van afstanden
- Lijst met natuurkundige vaardigheden
 - Onderbouwde voorspellingen doen
 - Schatten van afwijkingen in het eindantwoord door te schatten wat de invloed is van het verwaarlozen van bepaalde grootheden (zoals de wrijvingskracht).

Voorkennis

- Bewegingsvergelijkingen voor bewegingen met een constante snelheid
- Bewegingsvergelijkingen voor een vrije val

Benodigdheden



- Gekromde PVC-buizen (zie afbeelding) of een gekromde gordijnrail
- Statief en klemmen om PVC-buis/gordijnrail vast te zetten
- Kogel of balletje
- Meetlint
- Afgedrukt spinnenweb (zie bijlage, liefst op A3 papier)
- Carbonpapier (zodat duidelijk te zien is waar de kogel het spinnenweb treft).

Klassikale introductie van het practicum

- Voorafgaand aan dit experiment maken leerlingen de opdrachten uit de PreLab.
- Laat leerlingen zien dat een voorwerp in vrije val net zo lang over de val doet als een voorwerp dat tegelijkertijd in horizontale richting wordt afgevuurd. Dit kan bijvoorbeeld met een 'val en worp toestel' gedemonstreerd worden.
- Laat leerlingen de opstelling zien: PVC-buis wordt op een bepaalde hoogte vastgeklemd. Het laatste deel van de PVC-buis staat horizontaal dus de kogel verlaat de buis met alleen een horizontale snelheid. Als de kogel de buis verlaat, gaat het zowel in horizontale als verticale richting een beweging beschrijven. Laat leerlingen de uitvoering niet zien!
- Geef leerlingen een PVC-buis en een statief met klemmen (dus nog geen kogeltje). Ze stellen de PVC-buis zelf op de door hun gewenste hoogte in. Ze voorspellen met de informatie uit de PreLab wáár de kogel op de grond terecht gaat komen. Hier leggen ze het spinnenweb neer met daarbovenop het carbonpapier. De kogel moet zo dicht mogelijk bij het hart van het spinnenweb terechtkomen.
- Leerlingen noteren op hun whiteboard: meetwaarden (links), tekening van de kogelbaan (met op drie punten tijdens de beweging de snelheidsvectoren op het kogeltje getekend) met bijbehorende formules (midden), voorspelling met onderbouwing (rechts).
- De snelheid waarmee de kogel de PVC-buis/gordijnrail verlaat moet vooraf bepaald worden. De kogel ondervindt, met name bij de PVC-buis veel wrijving, waardoor de horizontaal afgelegde afstand soms wel 70% is van de theoretische waarde. Bij de gordijnrail kan deze snelheid bepaald worden door gebruik te maken van een lichtpoortje of door middel van videometen.

Korte klassikale aanwijzingen

- Laat leerlingen nadenken over de natuurkundige grootheden die ze verwaarlozen en in welke mate deze verwaarlozing effect heeft op de plaats waar de kogel de grond treft.
- Herhaal dat de tijden in $x = v_{\text{horizontaal}} \cdot t$ en $y = \frac{1}{2}gt^2$ hetzelfde zijn.

Klassikale nabespreking

- Welke verschillende oplossingsmethodes waren er? Is één manier beter dan de andere?
- Welke groepje had de beste voorspelling? Bij welk groepje week de plaats het meeste af? Welke redenen kunnen we hier voor bedenken?
- Welke grootheden zijn verwaarloosd die we in de bepaling wel mee hadden moeten nemen (rolwrijving, rotatie-energie, luchtwrijving)? In welke mate heeft deze verwaarlozing effect op de plaats waar de kogel de grond treft?
- Besteed aandacht aan de vectortekening op het midden van het whiteboard.
- Wat heb je geleerd over natuurkunde? Wat heb je geleerd over onderzoek doen?

Organisatie

- Benodigde tijd: 50 minuten (introductie, meten, verwerken, voorspellen, uitvoeren experiment, klassikale nabespreking)
- Leerlingen werken in groepjes van drie
- Klassikale introductie (10 minuten)
- Meten, verwerken, voorspellen, uitvoeren experiment (25 minuten)
- Klassikale nabespreking (in een kring, 15 minuten)
- De PreLab kan tijdens een eerder lesuur gedaan worden (benodigde tijd: 20-30 min). Het is aan te raden om bij het bespreken van de PreLab aandacht te besteden aan het feit dat de tijden in $x = v_{\text{horizontaal}} \cdot t$ en $y = \frac{1}{2}gt^2$ hetzelfde zijn.
- Na het experiment zou eventueel een horizontale worp gemodelleerd kunnen worden.

Voorbeeld resultaten

- De afstand Δh (de verticale afstand tussen het begin en einde van de buis) is gemeten op 0,225 m.
- De horizontale snelheid waarmee de kogel de buis verlaat is vooraf bepaald op $v_{\text{horizontaal}} = 1,47 \text{ m/s}$.
- De afstand y tussen het einde van de buis en de grond is ingesteld op 1,18 m.
- Dit resulteert in een valtijd van: $t = \sqrt{2 \cdot 1,18 / 9,81} = 0,49 \text{ s}$.
- De horizontale afstand die wordt afgelegd is dan $x = v_{\text{horizontaal}} \cdot t = 1,47 \cdot 0,49 = 0,72 \text{ m}$.

Contact

Wil je meer informatie over Modeldidactiek? Mail dan naar Onne Slooten (oslooten@amsterdams.com)

Wil je meer informatie over het project? Mail dan naar Liliane Bouma (liliane@lilianebouma.nl)

Over dit lesmateriaal

Colofon

| | |
|-------------------------|---|
| Auteurs | Onne Slooten ; Liliane Bouma |
| Team | Modeldidactiek |
| Laatst gewijzigd | 16 april 2024 om 19:35 |
| Licentie | De Internationale Creative Commons 4.0 licentie waarbij de gebruiker het werk mag kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken mag maken onder de voorwaarden: Naamsvermelding en Gelijk Delen, zie http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/ .
Meer informatie over de CC Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationale licentie licentie. |

Aanvullende informatie over dit lesmateriaal

Van dit lesmateriaal is de volgende aanvullende informatie beschikbaar:

| | |
|-----------------------------|---|
| Leerniveaus | VWO 2, HAVO 4, VWO 6, HAVO 3, VWO 3, HAVO 5, VWO 4, HAVO 2, VWO 5 |
| Leerinhoud en doelen | Natuurkunde |
| Eindgebruiker | leraar |
| Trefwoorden | groepswork, guided inquiry, modeldidactiek, modeling instruction (tm), natuurkunde, whiteboards |