

Energieomzettingen bij een achtbaan.

Een lessenserie in meerdere perioden.

Het ritje van een achtbaan is een spannende ervaring. In de rij voordat je een wagen in mag, ben je al bezig de ervaring voor te bereiden. Je neemt nog een slokje drinken. Je spreekt met je vrienden. Deelt een stoer verhaal over een andere rit, andere achtbaan of een ander attractiepark. Geeft aan wat jij het spannendts vindt en de komende rit wordt voorbesproken. Op informatieborden langs de wachtrij vind je meer technische gegevens over de achtbaan die je roept.

Dan de rit, via een poortje mag je instappen. Je gordel of beugel moet je vastklikken en als alles veilig is, komt de wagen in beweging. Een ketting, een band of een roller duwt je naar de start. Meerdere elektromotoren stuwden je naar de top van de attractie. Daar aangekomen sta je nog even stil en dan...

Je wordt van links naar rechts geduwd. Omhoog en omlaag een looping door of een kurketrekker of gewoon een hele scherpe bocht. Je gaat sneller en langzamer, je maag weet niet meer wat boven en onder is en al die tijd schreeuw je luid. Adrenaline doet haar werk en als de wagen afremt bedenk je verrast dat het alweer voorbij is. Even controleren of alles nog werkt en of je weer wat helderder kunt denken en dan wil alleen maar nog een keer.

In het kader van energieomzettingen bij het vak natuurkunde is de achtbaan een nuttig uitgangspunt bij verschillende domeinen. Elektriciteit wordt gebruikt om de wagen naar het hoogste punt te brengen, en vanaf daar doet de zwaartekracht haar werk. Als we de energietransitie willen doorvoeren bij attractieparken dan wordt de energie opgewekt door duurzame bronnen, zoals zonne-energie, die opgeslagen kan worden in grote accu's. Om te onderzoeken of deze transitie kan worden doorgevoerd is het interessant om een allesomvattend begrip te nemen die aan verschillende domeinen van de syllabus te koppelen is. Het rendement van de energieomzettingen bij verschillende onderdelen komt dan automatisch om de hoek kijken. De theorie rond de verschillende soorten energie, energieomzettingen en rendement komt gedurende het jaar in verschillende hoofdstukken (gekoppeld aan de domeinen) terug. De In de praktijk rond de achtbaan is zeer complex. Naast natuurlijk de constructie van het geheel en de veiligheidsaspecten is de technische installatie moeilijk zichtbaar te krijgen voor de Havo en VWO leerlingen. De rit zelf is redelijk goed te onderzoeken en er zijn talloze voorbeelden van opdrachten voor leerlingen in een attractiepark, waarbij de beweging wordt geanalyseerd. Als nu de hele achtbaan gezet wordt in een tastbaar model, krijg je een In het laboratorium waar leerlingen meerdere experimenten kunnen uitvoeren om zo een beter begrip te krijgen.

Er is voor gekozen om voor leerlingen drieluiken te maken die de leerlingen inzicht geven in de verschillende natuurkundige onderdelen bij de opdrachten rond de achtbaan. De opdrachten worden in gedeelten uitgevoerd en sluiten aan bij de stof die op dat moment gegeven wordt. Elke opdracht heeft een oriëntatie-, een leer- en een verwerkgedeelte. Tijdens het doorlopen van de opdrachten wordt er steeds een koppeling gemaakt met de drieluiken en wordt er een met een wisselende blik naar de theorie, het laboratorium en de praktijk gekeken. Ook wordt er voor gekozen de opdrachten zo open mogelijk aan te bieden. De leerlingen wordt gevraagd om zelf een uitdaging in de geboden situatie te zoeken en zelf hun onderzoek op te zetten. Hierbij geven de drieluiken wel een voorbeeld van een mogelijke opzet.

De lessen met de opdrachten zijn gekoppeld aan 4 drieluiken. Deze gaan over het gebruik van zonnecellen om energie op te wekken. Over energieopslag gaat de tweede drieluik. Vervolgens het gebruik van elektrische energie om de wagen op hoogte te krijgen en tenslotte het omzetten van de zwaarte-energie in bewegingsenergie en zo de rit te voltooien. De drieluiken zijn onderdeel van de opdracht en zijn daarom ook bij de opdrachten gevoegd.

Voor de docenten.

Er is bewust gekozen om de opdrachten open aan te bieden. Leerlingen kunnen dan meer zelf bepalen hoe ze iets aanpakken en waarom ze op deze manier het probleem willen oplossen. Als docent is het handig in zo een geval de leerdoelen in de gaten te houden en om leerlingen aanwijzingen te kunnen geven om een volgende stap te maken. De leerdoelen zijn goed terug te vinden in de syllabus en hieronder is een tabel met de domeinen die aan de orde komen. Door goed te kijken naar de omschrijvingen in de domeinen, de formules die daarbij horen en door te verwijzen naar voorbeelden uit bijvoorbeeld examenopgaven kun je leerlingen de juiste richting wijzen.

Het doel van de lessenserie is vooral om door middel van een uitgebreid thema over één onderwerp de stof herkenbaar te houden voor de leerlingen. Door regelmatig de context terug te laten komen zien de leerlingen dat in de wereld van bèta-techniek vele disciplines van belang zijn en dat vele werelden samen komen.

Domein A Vaardigheden

Domein A zit in alle opdrachten verwerkt. De vaardigheden die je gebruikt kunnen echter per opdracht door de leerling of docent zelf worden ingevuld.

Domein C Beweging en wisselwerking

Kracht en beweging

eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen,

- de volgende bewegingen herkennen: eenparige rechtlijnige beweging, eenparig versnelde / vertraagde beweging, vrije val, valbeweging met wrijving;
 - uit een (x,t) -diagram de gemiddelde snelheid bepalen;
 - uit een (x,t) -diagram de snelheid op een bepaald moment bepalen, gebruik makend van het inzicht dat de snelheid de afgeleide is van de plaats naar de tijd;
 - uit een (v,t) -diagram de (val)versnelling op een bepaald moment bepalen, gebruik makend van het inzicht dat de versnelling de afgeleide is van de snelheid naar de tijd;
 - uit een (v,t) -diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen met behulp van de oppervlakte;
3. krachten op een systeem analyseren zowel aan de hand van een vectortekening als met behulp van goniometrische relaties, waaronder het samenstellen van en ontbinden in componenten en het bepalen van de grootte en/of richting van krachten,
- krachten: zwaartekracht, schuifwrijvingskracht, rolweerstandskracht, luchtweerstandskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht;
4. de eerste wet van Newton uitleggen en toepassen,
- vakbegrip: traagheid;
5. de tweede wet van Newton uitleggen en toepassen;
6. de derde wet van Newton uitleggen en toepassen,
- vakbegrippen: actiekracht, reactiekracht, gewicht;
7. op grond van een analyse van krachten een geschikt numeriek model voor een beweging kiezen en het model gebruiken om de beweging te analyseren.

Energie en wisselwerking

1. berekeningen maken met betrekking tot kracht, verplaatsing, arbeid, snelheid en vermogen,
 - de arbeid bepalen uit een kracht-verplaatsingsdiagram;
2. energieomzettingen bij bewegingen analyseren,
 - de wet van behoud van energie en de relatie tussen arbeid en kinetische energie toepassen;
 - minimaal de bewegingen: vrije val, valbeweging met wrijving, verticale worp, trilling en stuiterbeweging;
 - energieën: kinetische energie, zwaarte-energie, veerenergie, chemische energie, warmte;
 - vakbegrippen: potentiële energie, (positieve en negatieve) arbeid, wrijvingsarbeid, periodieke beweging;
 - minimaal in de contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens.

Domein D Lading en Veld

De kandidaat kan:

1. het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning,
 - de definities van stroomsterkte, spanning en soortelijke weerstand gebruiken;
 - vakbegrippen: vrij elektron, ion, elementaire lading, spanningsbron, batterij, accu;
2. de wetten van Kirchhoff toepassen als wetten voor behoud van stroomsterkte in een punt en van spanning in een kring;
3. stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid,
 - bij gemengde schakelingen alleen beredeneren en eenvoudige berekeningen maken;
 - de juiste aansluitwijze van stroommeter en spanningsmeter toepassen;
 - de volgende componenten toepassen binnen een schakeling: diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, lamp, motor, verwarmingselement, zekering, aardlekschakelaar;
 - vakbegrippen: stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting;
4. het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren,
 - berekeningen aan elektrische energie in joule en in kilowattuur;
 - minimaal in de contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor, verwarmingselement en kWh-meter), energiegebruik, energiebesparing.

Domein H Natuurwetten en modellen

De kandidaat kan:

1. in voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen¹⁰,

- principes: universaliteit, schaalonafhankelijkheid, denken in ordes van grootte, analogie;
- wetmatigheden: behoudswetten, wetten van Newton, kwadratenwet;
- vakbegrippen: natuurwet, natuurconstante, verband, vergelijking;

2. voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus gebruiken om toe te lichten hoe het begrip model in de natuurkunde wordt gehanteerd en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen,

- het inzicht toepassen dat een model een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid is en dit relateren aan de beperkte toepasbaarheid van het model;
- onderscheid maken tussen een denkmodel, schaalmodel, numeriek model en computermodel;
- vakbegrip: iteratief proces;

3. modelstructuren herkennen in computermodellen en het gedrag van deze modelstructuren toelichten en onderzoeken en aan de hand van voorbeelden uitleggen waar grenzen aan de voorspelbaarheid uit voortkomen,

- modelstructuren: verval en groei (1e orde), oscillaties en bewegingen (2e orde);
- vakbegrippen: rekencapaciteit, stapgrootte, beginvoorwaarde.

Domein I Ontwerp

Spreekt eigenlijk voor zich. De diepgang en breedte kan per leerling en per opdracht verschillen.

Hier kies je een duidelijk einddoel of product voor de leerlingen.

Opdracht Opwekken van energie.

Een uitdaging voor attractieparken is om meer duurzame energiebronnen te gaan gebruiken. Je kunt hierbij denken aan zonne- en windenergie of aardwarmte. Je gaat in deze opdracht onderzoeken hoe een attractiepark gebruik kan maken van zonnepanelen. Daarbij moet je bedenken dat het niet elke dag prachtig weer is, dat de zon later ondergaat in de zomer, dat de zon elke dag van oost naar west gaat en dat een attractiepark niet het gehele jaar open is. Kortom, echt standaard zijn de omstandigheden waar een zonnepaneel in park aan moet voldoen niet.

Op internet zijn verschillende voorbeelden te vinden van het gebruik van zonnepanelen om energie op te wekken. Daar kun je een standaard (theoretische) oplossing vinden voor het installeren van de zonnepanelen om een zo groot mogelijk rendement te halen. De praktijk is echter lastiger, omdat je met omgevingsfactoren en eisen van het park te maken hebt. Zoek uit op welke momenten de achtbaan bij een attractiepark energie gebruikt en hoeveel dat dan is. Bepaal hoeveel vierkante meter zonnepanelen er nodig zijn en ga in de In het laboratorium uitzoeken wat het rendement van deze opstelling zou kunnen zijn. Neem in je discussie mee in hoeverre de In het laboratorium overeen komt met de In de praktijk. Geef op zoveel mogelijk aspecten die van belang zijn voor het attractiepark antwoord. Geef antwoord op de vraag hoe reëel het is dat een achtbaan op zonne-energie kan gaan werken.

In de praktijk	In het laboratorium	In theorie
<div data-bbox="212 547 784 815" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="201 904 784 1292" data-label="Text"> <p>Je kunt zonnepanelen gebruiken om zonlicht om te zetten in elektriciteit.</p> <p>De hoek waaronder de zon invalt, de hoeveelheid zonlicht en de leeftijd van de panelen zijn de variabelen waar de hoeveelheid elektrische energie die opgewekt wordt van af hangt. Dat bepaalt het rendement van de zonnepanelen.</p> </div>	<div data-bbox="898 507 1339 842" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="822 904 1404 1292" data-label="Text"> <p>Op een powerbank zit een handzaam zonnepaneel. Het slaat zijn opgewekte energie op in de interne batterij, of kan de energie via USB poorten rechtstreeks doorgeven aan een externe bron.</p> <p>Door gebruik te maken van dit instrument, kan het probleem van weinig zonlicht, lage zon en duur van de dag worden opgevangen. De opgewekt energie wordt namelijk opgeslagen in de accu.</p> </div>	<div data-bbox="1467 523 1993 831" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="1442 904 2024 1078" data-label="Text"> <p>Voor een groot rendement van de zonnepanelen moet de paneel optimaal geplaatst worden. Afhankelijk van de energievraag is het beste rendement te behalen bij verschillende opstellingen.</p> </div>

Opdracht Opslag van energie.

De energie die kan worden opgewekt is op goede dagen zoveel, dat de achtbaan kan draaien en er dan nog wat over is. Graag willen we die voor dagen dat het minder goed weer is opslaan, zodat de achtbaan dan ook kan werken. Deze opslag gebeurt in de praktijk over het algemeen in grote accu's. Het nadeel daarvan is dat het opslaan iets aan energie kost, bijvoorbeeld doordat de accu warm wordt van het opladen. Hoeveel energie gaat hierbij verloren en is er bij het ontladen van de accu ook energieverlies?




Onderzoek hoeveel energie er verloren gaat bij het gebruik van een accu als energieopslag. Wat zijn alternatieven en zouden die op een attractiepark ook gebruikt kunnen worden. Hoeveel energie zou er in de accu moeten worden opgeslagen als we de achtbaan helemaal off-grid willen gebruiken. Schrijf aan de hand van experimenten met oplaadbare batterijen een advies voor het gebruik van accu's in het attractiepark, geef daarbij ook de voor- en nadelen van alternatieve methoden.

In de praktijk	In het laboratorium	In theorie
 <p>Wanneer een zonnepaneel genoeg energie opbrengt, kan de energie worden opgeslagen in grote accu's. Deze energie kan later weer opgevraagd worden als het zonlicht minder of geen energie oplevert.</p>	 <p>Door gebruik te maken van oplaadbare batterijen, kan het probleem van weinig zonlicht, lage zon en duur van de dag worden opgevangen. De opgewekt energie wordt namelijk opgeslagen in de accu.</p>	 <p>Bij het opslaan van energie gaat een deel van de energie verloren. Toch is opslag noodzakelijk. Met welk energieverlies moeten we rekening houden.</p>

Opdracht: Rendement van de elektromotor.

De energie die in de accu is opgeslagen wordt gebruikt om de wagens op hoogte te brengen, zodat ze hun tocht over de baan kunnen afleggen. De opgeslagen elektrische energie wordt gebruikt om de wagen verschillende keren zwaarte-energie te geven. De vraag is hoe vaak kan een auto naar boven als de accu helemaal gevuld is, en wat is uiteindelijk het rendement van deze omzetting.



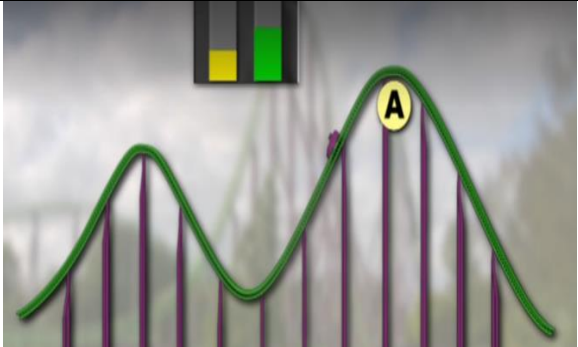
Onderzoek hoeveel energie je nuttig uit de accu kan krijgen. Ga ervan uit dat de accu tussendoor niet opnieuw wordt opgeladen. In het laboratorium gebruiken we volledig opgeladen batterijen als je start en de energie wordt gebruikt om in de model achtbaan de wagen op het hoogste punt te krijgen. Bepaal hoe lang er energie geleverd wordt die voldoende is om deze activiteit te kunnen doen en hoe vaak de wagen dan naar boven is getakeld. Uit deze gegevens kun je het rendement van het accu-motor-wagen systeem bepalen.

In de praktijk	In het laboratorium	In theorie
 <p data-bbox="199 890 786 1173">De elektrische energie wordt gebruikt om de wagen van een achtbaan te laten bewegen. Ze worden door verschillende motoren in de baan vooruit en vooral omhoog geduwd. Bovenaan de baan staat de wagen zo goed als stil. De arbeid die de elektromotoren hebben verricht heeft ervoor gezorgd dat de wagen aan de rit kan beginnen.</p>	 <p data-bbox="819 898 1406 1074">De wagen van de achtbaan wordt door de elektromotor naar het hoogste punt van de baan gebracht. De elektromotor laat een ketting draaien waar de auto door naar boven wordt gebracht.</p>	 <p data-bbox="1440 890 2027 1034">De elektromotor zet elektrische energie om in bewegingsenergie. Omdat de wagen veilig naar boven moet en geklemd zit aan de baan, zal het rendement afnemen.</p>

Opdracht: Beweging en energieverliezen.

Tenslotte komt de wagen van boven op het hoogste punt in beweging en zal de helse tocht worden gemaakt. Op verschillende plekken zal de wagen heel snel gaan en op andere plekken weer wat langzamer. Zoek eens uit hoeveel wrijving de wagen tijdens de rit ondervindt. Hangt het energieverlies af van de G-krachten die een persoon in de achtbaan ondervindt? Hangt het verlies af van de snelheid van de wagen? Is er een vaste hoeveelheid energie die de wagen per meter verliest?

Deze opdracht kan in sommige opzichten gedaan worden in een echt park. De resultaten die je vindt zullen beter bij de realiteit passen. Als je echter het laboratoriummodel gebruikt, kun je de baan makkelijker aanpassen om verschillende oorzaken te isoleren en zo een beter beeld te krijgen van de variabelen. Daarnaast is het herhalen van je metingen eenvoudiger uit te voeren. Onderzoek de energiebalans op verschillende plaatsen in het traject. Bepaal op deze plekken hoeveel energie er verloren is. Door op slimme plekken te meten kun je verbanden vinden tussen de G-kracht, de snelheid en/of de schuif-/rolweerstand en het energieverlies. De metingen kunnen via videometingen worden verwerkt. Ga er van uit dat de totale energie wordt gegeven door zwaarte-energie en kinetische energie. De arbeid door de som van de verschillende wrijvingskrachten zal de afname van de totale energie representeren. Bedenk manieren om de G-krachten op de wagen te meten, dat zou een mooie aanvulling zijn op je onderzoek. Je kunt ze ook theoretisch bepalen, wanneer je metingen te lastig zijn.

In de praktijk	In het laboratorium	In theorie
 <p>De zwaarte-energie die de wagen aan het begin van zijn rit krijgt is genoeg om de hele baan af te leggen. Continu er energie omgezet, zwaarte-energie naar bewegingsenergie en vice versa. Daarbij gaat er steeds ook energie verloren door wrijving. Als hij snel beweegt is er veel luchtwrijving, als hij bochten maakt is er veel weerstand van de baan.</p>	 <p>De modelachtbaan laat de wagen boven aan de helling los nagenoeg zonder beginsnelheid. De auto wint energie door de werking van de zwaartekracht. De snelheid en hoogte zijn te bepalen via videometingen en/of sensoren in en langs de baan.</p>	 <p>Met de wet van behoud van energie is op elk moment in de baan te berekenen wat verloren energie is. De zwaarte-energie is afhankelijk van de hoogte van de wagen. De bewegingsenergie is met behulp van de snelheid te bepalen. Zo kun je berekenen wat de gemiddelde wrijving op de wagen is. Dit is zelfs te bepalen op verschillende plekken tijdens de rit.</p>

