

Hoe achtbanen je voor de gek houden

Stel je voor: je neemt plaats in een karretje van een achtbaan. De spanning over wat je de komende paar minuten te wachten staat kan hoog zijn, maar maak je geen zorgen: vrijwel alle krachten die je zult ervaren zijn schijnkrachten!



Afbeelding 1. De Python achtbaan in de Efteling Foto van [Sjoerdswfj](#).

Een bange vriend die van de grond toekijkt, ziet eigenlijk niet veel raars gebeuren tijdens je rit. Je karretje wordt omhoog getakeld en blijft bovenaan een steile helling even hangen, waarna het naar beneden versnelt, door een paar bochten, loopings en een helix racet en uiteindelijk afremt en rustig het stationnetje weer inrolt.

Behalve de eerste optakeling wordt het treintje nergens aangedreven, en komt alle vaart dus uit de eerste helling. Of, meer natuurkundig uitgedrukt: het karretje zet zijn initiële potentiële energie om in kinetische energie. De enige 'aandrijvingskracht' die daar een rol bij speelt is

de naar de grond toe gerichte zwaartekracht.

Jouw eigen ervaring is echter heel anders. Tijdens de rit wordt je veel heen en weer geslingerd, en voelt het alsof je soms vier keer zo zwaar bent als normaal, terwijl je andere keren juist lijkt te zweven. Het is natuurlijk niet zo dat je massa of de zwaartekracht van de aarde echt verandert, dus wat is hier gaande?

De wijsheid van Newton

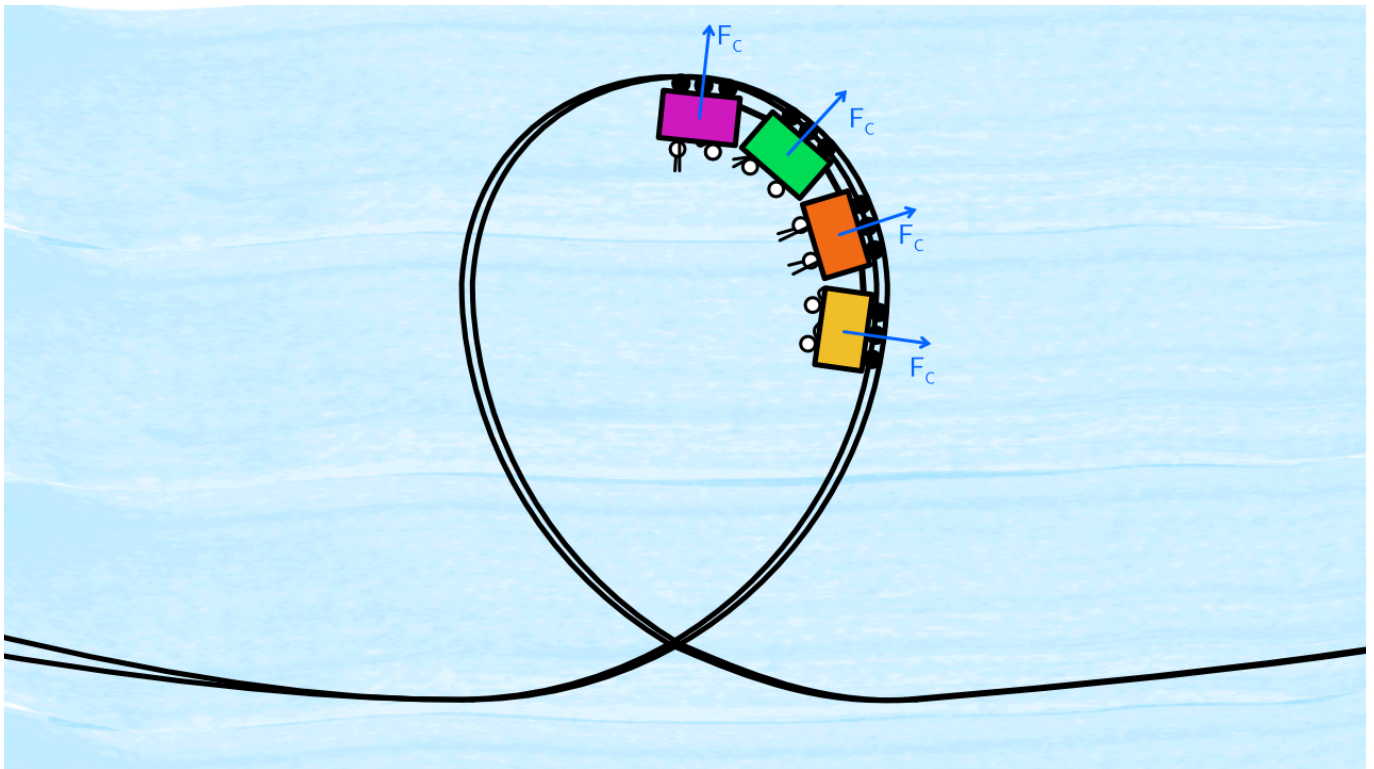
Om wat je in een achtbaan ervaart te verklaren, is het handig als we eerst Isaac Newtons drie bewegingswetten samenvatten. Newton was een van de grondleggers van de klassieke mechanica, en zijn drie wetten formuleerde hij in 1687. Hoewel die formulering dus al eeuwen oud is, gebruiken we Newtons inzichten nog steeds om veel alledaagse (en minder alledaagse) situaties beschrijven, van botsende biljartballen tot stijgende raketten. We hebben ons op deze site al eens eerder verdiept in deze wetten; zie daarvoor [deze serie](#). Hier in het kort:

1. Volgens de eerste wet blijven objecten stilstaan, of houden ze een constante snelheid en richting, zolang er geen netto kracht op de objecten wordt uitgeoefend. Zo blijft een bal op een plat oppervlak helemaal stil liggen totdat je hem duwt, en zou diezelfde bal – in een ideale situatie zonder weerstand – in dezelfde richting met dezelfde snelheid blijven rollen totdat jij of iets anders er een kracht op uitoefent.
2. De tweede wet van Newton zegt dat de kracht (F) die op een voorwerp werkt, gelijk is aan de verandering van de *impuls* (massa keer de snelheid) van dat voorwerp. Wanneer de massa m van een object niet verandert, wordt dit resultaat gemakkelijk samengevat als $F = ma$, waarin a de versnelling van het object is: hoeveel zijn snelheid (v) verandert in de loop van de tijd ($a = dv/dt$) [1].
3. De derde wet van Newton wordt meestal beschreven als “actie ↔ reactie”. Dat wil zeggen: Als een voorwerp A een kracht F_{actie} op een voorwerp B uitoefent, gaat deze kracht gepaard met een even grote, maar tegengesteld gerichte kracht $F_{reactie}$ van B op A, dat wil zeggen: $F_{actie} = -F_{reactie}$.

Loopings zijn een schijntrucje

Met Newtons drie bewegingswetten in onze achterzak kunnen we door alle schijn van

achtbanen heen kijken. De reden dat jij niet naar beneden valt wanneer je op je kop door een looping rijdt, is namelijk niet dat er een kracht op je werkt vanuit het middelpunt van de loop naar buiten. De zogenoemde centrifugale of middelpuntvliedende kracht die je in je stoel lijkt te houden is niet meer dan een zogenoemde *schijnkracht*. De centrifugale kracht die jij in een looping voelt is precies dezelfde kracht als degene die water in een rondzwaaiende emmer houdt, en kleren in de trommel van je wasmachine naar de buitenkant duwt wanneer die ronddraait. Hoe werkt zo'n schijnkracht precies?



Afbeelding 2. Een looping in een achtbaan Het voelt hier alsof er een centrifugale kracht (F_c) op je werkt, die je in je stoel drukt. Dit is een schijnkracht. Afbeelding: Jans Henke

De reden dat we krachten als de centrifugale kracht een schijnkracht noemen, is dat ze alleen bestaan binnen jouw bewegende referentiekader (dat wil zeggen: je karretje), en niet voor je stilstaande vriend. Er is namelijk geen object of krachtenveld dat jou tijdens de looping je stoel indrukt. De kracht komt voort uit je eigen *traagheid*. Zoals we weten van Newtons eerste wet, probeert je lichaam te blijven voortbewegen met dezelfde snelheid, in dezelfde richting. Zodra je karretje een bocht omdraait, of door een looping rijdt, probeert jouw lichaam in de eerste instantie dus rechtdoor te bewegen. Maar ja, actie leidt natuurlijk tot reactie, dus het karretje duwt gewoon terug!

Meer wiskundig geformuleerd: volgens de wetten van Newton moet de som van alle krachten op een puntmassa gelijk zijn aan nul als de massa niet versnelt. Maar, heel belangrijk: die wetten gelden zoals Newton ze formuleerde alleen binnen een systeem dat zelf niet óók versnelt – dus in een stilstaand huis, of in een met constante snelheid rijdende trein. Wat jij ervaart meet je (vooral) ten opzichte van jouw karretje, wat betekent dat jouw metingen worden gedaan binnen een coördinatenstelsel wat zélf versnelt. Om ervoor te zorgen dat alle krachten ook binnen het karretje optellen tot nul, moet er een extra schijnkracht $F = -ma_{\text{stelsel}}$ worden ingevoerd.

G-krachten

Hierboven hadden we het over schijnkrachten die je in de bochten van een achtbaan voelt, maar het gevoel dat je zwaarder of lichter wordt, wordt óók veroorzaakt door schijnkrachten. Denk hierbij aan het gevoel dat je lichter wordt bij een steile daling, en het gevoel dat je zwaarder bent dan normaal wanneer je snel stijgt.

Zo'n effect wordt door fabrikanten van achtbanen ook wel een *g-kracht* genoemd. Natuurkundigen zijn vaak minder fan van de term omdat een g-kracht helemaal geen kracht is, maar de verhouding tussen de ervaren versnelling van een passagier, en de gemiddelde valversnelling op aarde (van $1g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Bij een positieve g-kracht van $3g$ voel je je drie keer zwaarder dan normaal, bij een g-kracht van $-2g$ ervaar je juist een versnelling van $19,6 \text{ m/s}^2$ omhoog [2]. In een vrije val, wanneer je met $1g$ naar beneden versnelt, is de g-kracht die op je werkt juist $0g$; het voelt dan alsof je gewichtloos bent!



Afbeelding 3. De Thunderbolt achtbaan in Coney Island Deze achtbaan heeft een heel stijl stuk (rechterzijde van foto), waarin wordt gespeeld met g-krachten. Foto van [Rhodondendrites](#).

Omdat een te grote versnelling gevaarlijk kan zijn, zijn er normen voor de g-krachten die je als passagier in verschillende richtingen mag voelen. Normaliter zul je als passagier met minder dan $2g$ omhoog versneld worden, en met een maximale versnelling van zo'n $5g$ in je stoel gedrukt worden. Nog steeds een flinke 'kracht'!

De verandering in ervaren zwaartekracht is dus een schijneffect, en moet je kunnen onderscheiden van de echte zwaartekracht van de aarde. Maar klopt die conclusie wel helemaal? Nou nee, als we Albert Einstein moeten geloven! Hij bedacht namelijk het *equivalentieprincipe*: ook de 'echte' zwaartekracht is op te vatten als schijnkracht! Volgens dit principe is er geen fundamenteel onderscheid te maken tussen jouw ervaring van neerwaartse kracht als je in een met $1g$ versnellende raket in de lege ruimte beweegt (een schijnkracht, dus), en je ervaring van 'echte' zwaartekracht wanneer je raket op aarde stilstaat. Het is allemaal maar relatief! (Nieuwsgierig? Neem dan een duik in onze [serie over relativiteit!](#))

Flauwe attracties

De volgende keer dat je naar een attractiepark gaat, moet je maar eens met natuurkundige ogen kijken naar de verschillende attracties die er zijn. Behalve achtbanen zijn er namelijk nog veel meer soorten ritten die inspelen op jouw ervaring van schijnkrachten – allemaal omdat je eigen lichaam maar een traag object is. Een natuurkundige blik maakt al die schijnkrachten niet minder misselijkmakend, maar misschien wel minder eng!

[1] F , v en a hebben alle drie een grootte en een richting, waardoor het eigenlijk vectoren zijn.

[2] Een versnelling is dus eigenlijk een vector. Om het simpel te houden wordt er meestal alleen gesproken over versnelling omlaag, met een 'positieve' g -kracht, of versnelling omhoog, met een 'negatieve' g -kracht. Bij zijwaartse versnellingen moet de richting van de versnelling wel meegenomen worden, waarbij de g -kracht een vector wordt.