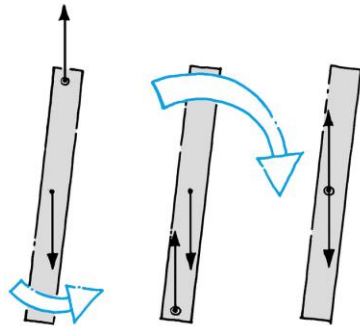


Stabiliteit

Het ‘rookwolkje’ dat dit treintje met zich meevoert, is stabiel doordat de som van de krachten erop nul is.



Evenwicht kan op drie manieren tot stand komen, zoals bij deze lat. De twee krachten – die van jou omhoog en die van de aarde omlaag – wijzen van elkaar af.



Houd je hem aan de bovenkant vast dan noemen we het evenwicht *stabiel*: als hij een zetje krijgt, keert hij terug naar de oude stand. Ondersteun je de onderkant, dan is het evenwicht *labiel*, want een klein zetje is voldoende om de lat te laten omvallen. De krachten wijzen naar elkaar toe. Ondersteun je het midden, dan vallen de werklijnen van de krachten samen en kan de lat elke stand aannemen. Dit evenwicht noemen we *indifferent*.

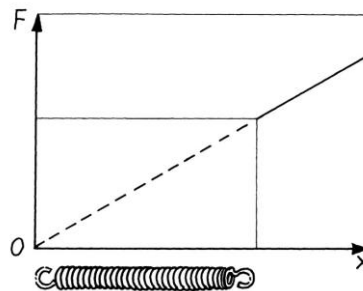
Compensatieveren

Robots zijn vaak met ‘compensatieveren’ uitgerust zodat ze geen moeite hebben hun eigen gewicht te tillen. De veren zorgen voor een indifferent evenwicht. Je kent zo’n bureaulamp wel die in alle standen blijft staan. Die heeft geen contragewicht maar wel een stel veren.



De motoren die robots aandrijven, kunnen met zo’n veersysteem een stuk kleiner zijn. Vooral voor robots die snel moeten bewegen is dit van belang.

Maar ook mensen met een prothese of een spierziekte hebben hier profijt van, want met een dergelijk uitgebalanceerd systeem voelt een kunstarm aan als die van een ruimtevaarder tijdens gewichtloosheid. De veren zijn van een speciaal soort: ze hebben een voorspanning. Dat wil zeggen: ze rekken pas uit als een bepaalde kracht overschreden wordt. De veer zou korter willen worden maar zijn eigen windingen zitten hem in de weg. Als de kracht groter wordt dan die bepaalde waarde, dan is de $F(\ell)$ -grafiek een keurige rechte lijn door de oorsprong. De kracht is nu evenredig met de *lengte* van de veer.



Met zulke veren kun je een kunstarm zonder scharnier ontwerpen. De twee veren zorgen samen voor een zwevend scharnier zodat de arm in elke stand in evenwicht is. De twee veerkrachten moeten samen steeds de zwaartekracht compenseren, in elke stand van de arm. Dat lukt want als een veer bijvoorbeeld 1,5 keer zo lang wordt omdat de stand van de arm verandert, is zijn veerkracht óók 1,5 keer zo groot en de vectorpijl die de kracht voorstelt dus ook.

Dat geldt hieronder voor beide veerkrachten, waardoor de resultante van die twee weer precies de zwaartekracht opheft. Zie verder **Extra**.

