

De hellingproef

Een practicum over het ontbinden van krachten in componenten

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

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

Natuurkundige achtergrond

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

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

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

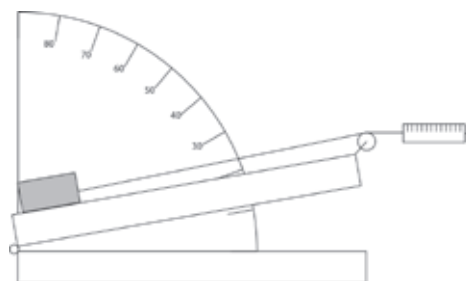
wrijvingscoëfficiënt. Als we de kist met een constante snelheid omhoog trekken, is de benodigde spierkracht gelijk aan:

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

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

Opstelling

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



Figuur 1: De schematische weergave van de opstelling



Figuur 2: De daadwerkelijke opstelling

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

Open en gesloten

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

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

Freek Pols is natuurkundedocent aan het ISW 's-Gravenzande en doet een promotieonderzoek naar de leeropbrengst van practica en het aanleren van onderzoeksvaardigheden. Hij geeft regelmatig workshops rond dit onderwerp. De beide werkbladen zijn te verkrijgen via: c.f.j.pols@tudelft.nl

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

Een auto gaat schuiven als geldt:

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



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

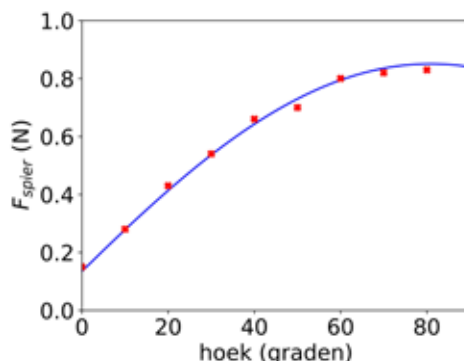
team van de *Swedish Road Service* (SRS). Na een introductiefilmpje waarin auto's van ijzige hellingen afglijden en veelal op elkaar botsen, wordt de leerlingen gevraagd advies uit te brengen over het aanleggen van een nieuwe weg door heuvelachtig gebied, zie figuur 3. De leerlingen krijgen de opdracht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

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

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

Meetresultaten

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



Figuur 4: De experimentele resultaten

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

Leerlinguitkomsten

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

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

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

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

Bron

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