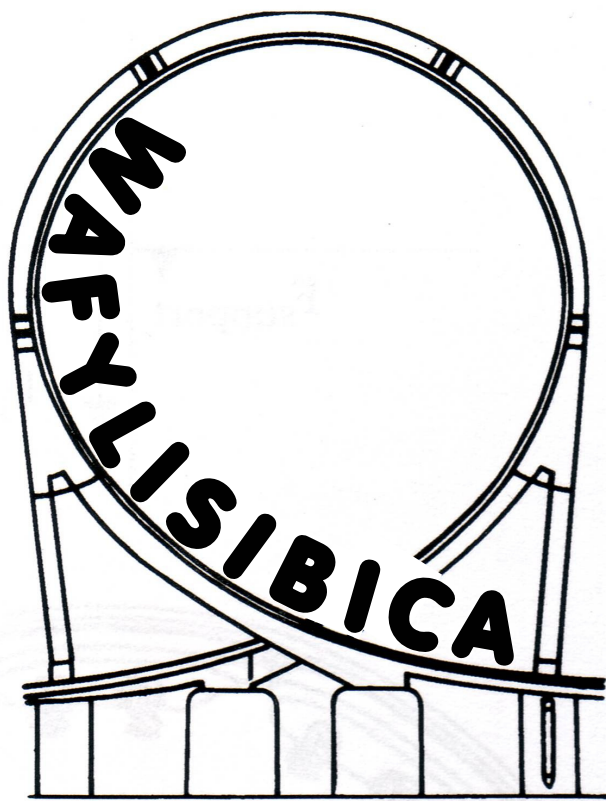


WAFY LISIBICA

Nisselijkmakende natuurkunde



Samenvatting project

Karel Langendonck
(www.fysikarel.nl)

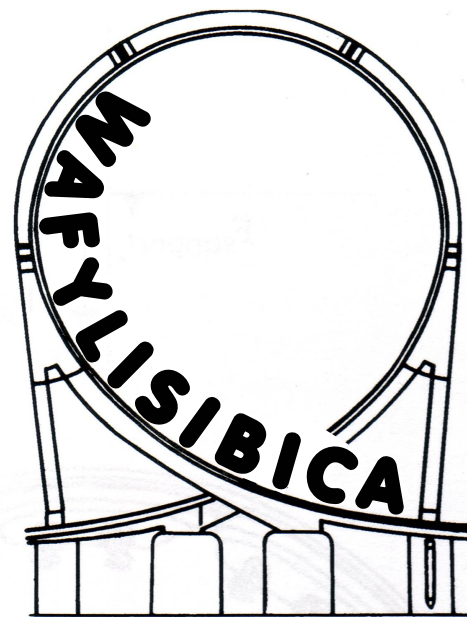
1. Inleiding

Het is een mooie zomerdag. Langzaam loop ik naar een hoek van het park. Het pad lijkt steeds smaller te worden en de mensen die ik tegenkom lijken sterk onder de indruk van iets. Maar wat?

Plots doemt een gigantische stalen constructie voor mij op. Groen met paars gekleurd, maar vooral immens in afmeting. Zeven letters verschijnen in mijn gezichtveld: G – O – L – I – A – T – H.

Ik ben verzeild geraakt bij de hoogste, langste en snelste achtbaan van de Benelux. Mensen om me heen krioelen om elkaar heen bij de ingang van de attractie. Sommigen zelfverzekerd en vol spanning, anderen onzeker over hetgeen ze zichzelf aan gaan doen. Ik zie iedereen angstvallig de uitgang in de gaten te houden om te bekijken in welke toestand voorgangers de baan verlaten.

En ik? Zal ik Goliath durven te verslaan?



Figuur 1.1: WAFYLISIBICA – Misselijkmakende natuurkunde.

1.1. Opzet WAFYLISIBICA

Welkom in het project “WAFYLISIBICA – Misselijkmakende natuurkunde”. In dit project kunnen leerlingen aan de slag met achtbanen, draaiattracties, waterbanen, zweefmolens, maar vooral met natuurkunde. Een attractiepark is namelijk bij uitstek geschikt om allerhande natuurkundige principes toe te passen in de praktijk. Aan de hand van de informatie in dit project en eigen experimenten ontdekt de leerling welke principes er ten grondslag liggen aan attracties in attractiepark Walibi World in de Flevopolder.

Om dit doel te kunnen bereiken, dient er eerst een forse hoeveelheid informatie doorgespit te worden. In hoofdstuk 2 zal worden gestart met een samenvatting van de (klassieke) mechanica. Allerlei onderwerpen die in de natuurkundelessen al aan bod zijn geweest, passeren hier nogmaals, in beknopte vorm, de revue. Doel van deze weergave is het eenvoudiger herkennen van natuurkunde in de attracties van Walibi World. In hoofdstuk 3 zijn een aantal opgaven opgenomen, die ook binnen de context Walibi World zijn opgesteld.

In hoofdstuk 4 staat een verzameling weergegeven van allerlei attracties in Walibi World die geschikt kunnen zijn voor experimenten. Deze verzameling is bedoeld om leerlingen enig inzicht te geven in de mogelijkheden en onmogelijkheden van bepaalde attracties. Het experimentele deel van WAFYLISIBICA start in hoofdstuk 5. Hier wordt een krachtsensor ontworpen, waarmee (gewichts)krachten kunnen worden gemeten in attracties. Hoofdstuk 6 beschrijft het tweede experimentele deel van het project. Hier komen toepassingen van Coach Videometen aan de orde. Aan de hand van hoofdstuk 7 moeten de meetresultaten, verkregen bij de krachtmetingen en de videometingen gecombineerd worden met ervaringen van passagiers in de attracties. Tot slot staan in hoofdstuk 8 een aantal opdrachten omschreven die de leerling enige houvast geven in het gestructureerd verwerken van het project.

WAFYLISIBICA is een project dat aardig wat van de leerling verlangt. Er dient lastige stof bestudeerd te worden en te worden toegepast. Ook de experimenten vergen aardig wat creativiteit en inzicht. Goed doorlopen van het project kost dus aanzienlijk wat tijd en dientengevolge een goede planning. Het project is echter zo opgebouwd dat ook losse onderdelen er van ingezet kunnen worden in de natuurkundelessen.

In onderstaande paragraaf is de inhoudsopgave van WAFYLISIBICA weergegeven. De rood gedrukte onderdelen zijn weergegeven in dit schrijven om enige indruk te geven van het project.

Mocht u interesse hebben in WAFYLISIBICA, neemt u dan contact op via email (fysikarel@orange.nl) en/of mijn website (www.fysikarel.nl). U ontvangt het project dan schriftelijk en digitaal, zodat aanpassingen aan uw specifieke schoolsituatie mogelijk zijn.

Karel Langendonck

1.2. Inhoudsopgave

1. <u>Inleiding</u>	1
1.1. Opzet WAFYLISIBICA	1
1.2. Inhoudsopgave	2
2. <u>Mechanica</u>	4
2.1. Beweging	4
2.2. Eenparige beweging	5
2.3. Omgaan met bewegingsdiagrammen	6
2.4. Eenparig versnelde beweging	7
2.5. Horizontale worp	9
2.6. Krachten	9
2.7. Krachtenevenwicht	12
2.8. Wetten van Newton	14
2.9. G-kracht	16
2.10. Eenparige cirkelbeweging	17
2.11. Harmonische trilling	21
2.12. Energie, arbeid, vermogen en rendement	23
2.13. Wet van behoud van energie	24
2.14. Stoot	26
2.15. Impuls en impulsbehoud	27
3. <u>Opgaven</u>	30
3.1. Systematische probleemaanpak	30
3.2. Opgaven (selectie)	30
4. <u>Attracties</u>	37
4.1. Aztec	37
4.2. El Condor	37
4.3. Crazy River	37
4.4. Excalibur	38
4.5. Flying Dutchman	38
4.6. G-Force	38
4.7. Il Gladiatore	39
4.8. Goliath	39
4.9. Hudson Bay	39
4.10. Merlin's Castle	40
4.11. Pavillon de Thé	40
4.12. Piccolini	40
4.13. El Rio Grande	41
4.14. Robin Hood	41
4.15. Skydiver	41



4.16.	Los Sombrero's	42
4.17.	Splash Battle	42
4.18.	Space Shot	42
4.19.	Tequila's Taxi's	43
4.20.	The Tomahawk	43
4.21.	La Via Volta	43
4.22.	Xpress	44
4.23.	Geschiktheid attracties voor metingen	44
5.	<u>Krachtmetingen</u>	46
5.1.	Sensoren	46
5.2.	Drukweerstand	47
5.3.	Opbouw van de krachtsensor	47
5.4.	Toepassing van de CBL2 TM datalogger	50
5.5.	Exporteren van meetresultaten van de CBL2 TM naar de computer	51
5.6.	Grafieken tekenen met XL-plot	52
5.7.	Functiefitten in XL-plot	54
6.	<u>Videometen</u>	56
6.1.	Beweging vastleggen	56
6.2.	Filmpjes geschikt maken voor Coach Videometen	57
6.3.	Filmpjes inlezen in Coach Videometen	58
6.4.	Een meting voorbereiden in Coach Videometen	59
6.5.	Grafieken in Coach Videometen	60
7.	<u>Sensatie</u>	61
7.1.	Effecten van versnelling op het menselijk lichaam	61
7.2.	Verschijselen die op kunnen treden bij pretparkbezoek	63
8.	<u>Opdrachten</u>	64
8.1.	Opdrachten krachtmetingen	64
8.2.	Opdrachten videometen	65
8.3.	Opdracht sensatie-analyse	66

2. Mechanica

De mechanica is het onderdeel van de natuurkunde dat over het algemeen het meest herkenbaar is in het dagelijks leven. In dit hoofdstuk wordt in beknopte vorm een overzicht gegeven van de (klassieke) mechanica. Zo zullen verschillende typen beweging, de rechten die deze beweging veroorzaken en vormen van energie die daarbij van toepassing zijn aan bod komen.

2.4. Eenparig versnelde beweging

In paragraaf 2.2. is de eenparige beweging aan bod gekomen. Dit is een beweging die plaatsvindt met een constante snelheid. Een ander bewegingstype waar redelijk eenvoudig aan te rekenen is, is de *eenparig versnelde beweging*. Dit is een beweging die plaatsvindt met een *constante versnelling*. In de praktijk betekent dit dat de snelheid in de loop van de tijd voortdurend toeneemt (versnelling is positief) of afneemt (versnelling is negatief) met een constante waarde. Voor een eenparig versnelde beweging hebben de bewegingsdiagrammen standaard de vorm zoals weergegeven in figuur 2.7 ((s,t)-diagram), 2.8 ((v,t)-diagram) en 2.9 ((a,t)-diagram). Uit bovenstaande grafieken zijn formules op te stellen voor de eenparig versnelde beweging.

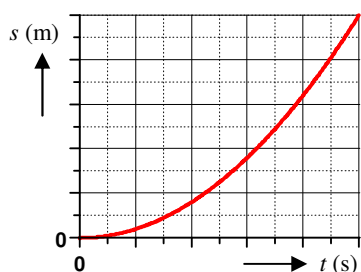


Fig. 2.7: (s,t)-diagram voor een eenparig versnelde beweging.

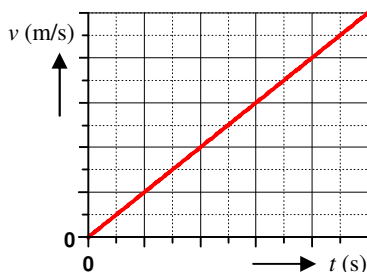


Fig. 2.8: (v,t)-diagram voor een eenparig versnelde beweging.

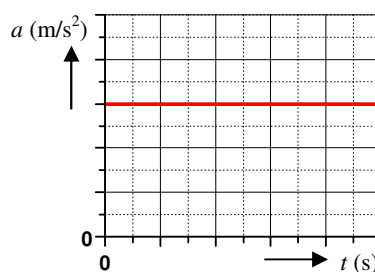


Fig. 2.9: (a,t)-diagram voor een eenparig versnelde beweging.

De snelheidsfunctie voor een eenparig versnelde beweging luidt:

$$v(t) = a \cdot t + v(0)$$

In deze formule staat $v(t)$ voor de snelheid op een tijdstip t (in m/s), a voor de versnelling (in m/s^2), t voor de tijd (in s) en $v(0)$ voor de snelheid op het tijdstip $t = 0$ s (de beginsnelheid, in m/s). De verplaatsingsfunctie (in de meeste gevallen wordt er bij versnelde bewegingen slechts gewerkt met de verplaatsing en niet met de plaats) voor een eenparig versnelde beweging luidt:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v(0) \cdot t$$

In deze formule staat $s(t)$ voor de verplaatsing op een tijdstip t (in m), a voor de versnelling (in m/s^2), t voor de tijd (in s) en $v(0)$ voor de snelheid op het tijdstip $t = 0$ s (de beginsnelheid, in m/s). Er moet nadrukkelijk worden opgemerkt dat, in de meeste praktijksituaties, beide vergelijkingen nodig zijn om een probleem op te lossen, zoals ook wordt toegelicht in voorbeeld 3.

Voorbeeld 3

In figuur 2.10 staat een gedeelte van de baan weergegeven van de Goliath. Het treintje wordt langs de baan aan de rechterzijde van de foto opgehesen en stort zich vervolgens langs een steile helling naar beneden. Op de baan zijn twee punten (A en B) aangegeven die op een afstand van 26 m van elkaar liggen. In punt A staat het

treintje nagenoeg stil, terwijl het in punt B een snelheid heeft van 58 km/uur. De beweging van het treintje is eenparig versneld. Bereken de versnelling van het treintje op dit gedeelte van de baan.

Bij dit soort opgaven is het zaak een goed beeld te krijgen van de gegeven situatie en waarden die gegeven zijn. Een duidelijke weergave van de situatie staat in figuur 2.10 (maar een schematische tekening kan ook gewenst zijn). Verder is bekend:



Fig. 2.10: Een deel van de baan van Goliath.

- de verplaatsing tussen de punten A en B bedraagt 26 m: $s(t) = 26 \text{ m}$
- de snelheid in punt A (de beginsnelheid) bedraagt 0 m/s: $v(0) = 0 \text{ m/s}$
- de snelheid in punt B bedraagt 58 km/uur: $v(t) = 58 \text{ km/uur} = 16,1 \text{ m/s}$

Deze gegevens kunnen worden ingevuld in de formules voor de eenparige beweging:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v(0) \cdot t \rightarrow 26 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$v(t) = a \cdot t + v(0) \rightarrow 16,1 = a \cdot t$$

Er is nu een situatie ontstaan met twee vergelijkingen, waarin twee onbekenden te herkennen zijn (de versnelling a en de tijd t). Dit probleem kan worden opgelost door een van de vergelijkingen dusdanig om te schrijven dat hij kan worden ingevuld in de andere vergelijking:

$$26 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \underbrace{a \cdot t}_{16,1} \cdot t$$

↑ invullen

$$26 = \frac{1}{2} \cdot 16,1 \cdot t \rightarrow t = \frac{26}{8,05} = 3,2 \text{ s}$$

Dit tijdstip kan vervolgens worden ingevuld: $v(3,2) = 16,1 = a \cdot 3,2 \rightarrow a = 5,0 \text{ m/s}^2$

Op het moment dat een voorwerp valt en dus alleen onderhevig is aan de zwaartekracht en er verder geen (of nauwelijks) sprake is van luchtweerstand, zal de versnelling van het vallende voorwerp een constante waarde hebben. Het voorwerp voert derhalve een eenparig versnelde beweging uit met een versnelling van $9,81 \text{ m/s}^2$. Deze versnelling wordt de *valversnelling* g genoemd. De vergelijkingen voor de eenparig versnelde beweging kunnen dan geschreven worden als:

$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v(0) \cdot t$$

$$v(t) = g \cdot t + v(0)$$

Daarbij moet worden opgemerkt dat de verplaatsing hier $y(t)$ wordt genoemd omdat er sprake is van een verticale beweging en dat de beginsnelheid $v(0)$ gelijk is aan 0 m/s als er sprake is van een valbeweging. Is er bijvoorbeeld sprake van een lancering (in verticale richting) dan is er echter wel sprake van een beginsnelheid.

3. Opgaven

Opgaven op kunnen lossen is een vaardigheid die essentieel is in de natuurkunde. Gestelde problemen kunnen daarbij redelijk eenvoudig zijn en vrij direct oplosbaar. Er kan echter ook sprake zijn van meer complexe problemen. Hierbij is het zaak het probleem (de opgave) op een systematische wijze aan te pakken. De kans op succes is dan het grootst. Dit is ook de reden dat in dit hoofdstuk eerst de systematische probleemaanpak omschreven wordt, waarna er een aantal opgaven op te lossen zijn.

3.2. Opgaven

Los onderstaande opgaven zoveel mogelijk op door gebruik te maken van de systematische probleemaanpak. Bij opgaven waarbij een geodriehoek () vermeld is, moet er iets (een hoek, een afstand, een verhouding, enz.) worden opgemeten in bijvoorbeeld een gegeven foto. Tot slot moet worden opgemerkt dat de getalwaarden in de opgaven geschatte waarden zijn. De daadwerkelijke waarden zijn alleen bekend bij Walibi World.



4. De El Condor, zie figuur 3.3, is een zogenaamde hangende achtbaan. Het treintje is onder de baan bevestigd. Voordat dit treintje de baan kan doorlopen is het zaak het treintje een voldoende hoeveelheid energie mee te geven. Dit gebeurt door het treintje over een bepaalde hoogte, langs een schuine helling, omhoog te hijsen. Dit ophijzen vindt plaats met een constante snelheid. Het treintje van El Condor heeft een massa van 1230 kg.
- Bepaal de grootte van de benodigde hijskracht.



Figuur 3.3: De hijsheining van El Condor.



8. De Hudson Bay is een zogenaamde schommelboot. De passagier neemt plaats in een boot die in een schommelbeweging wordt gebracht. In deze opgave wordt deze schommelbeweging beschouwd als een harmonische trilling.



Figuur 3.6: De Hudson Bay in een uiterste stand

In figuur 3.6 is een foto weergegeven van de Hudson Bay. Maurice (aangegeven met een pijl) zit in het schip op de middelste bank. De hoogte van het statief, waar de boot aan bevestigd is, bedraagt 9,2 m. De boot slingert met een frequentie van 0,18 Hz.

- a. Bepaal met welke snelheid Maurice door het laagste punt beweegt. Op een tijdstip $t = 0$ s beweegt Maurice door de evenwichtsstand in voorwaartse richting.



- b.** Bereken op welke tijdstippen, in het tijdsinterval van $t = 0$ s tot $t = 30$ s de uitwijking van Maurice 4,5 m bedraagt.

Maurice krijgt tijdens de rit in de Hudson Bay steeds het gevoel zwaarder en lichter te worden.

- c.** Maurice heeft een massa van 73 kg. Bepaal de grootte van de, op Maurice werkende, normaalkracht als het schip zich in een uiterste stand bevindt.

-  **12.** De achtbaan La Via Volta bestaat uit een baan die twee keer doorlopen wordt per rit. Eenmaal in voorwaartse richting en eenmaal in achterwaartse richting. Onderweg is er een verticale looping in de baan opgenomen, die is weergegeven in figuur 3.10. Bekend is dat de voorste wagon van het treintje een lengte heeft van 1,6 m.

Hoewel de passagiers in het treintje vastzitten door middel van een veiligheidsbeugel, is het (ook zonder beugel) onmogelijk dat een passagier uit het treintje valt. Het treintje heeft hiervoor in het hoogste punt een wel bepaalde minimale snelheid nodig.

Bepaal deze minimale snelheid. Beschouw daartoe de situatie waarin een net (niet) loskomt van zijn/haar stoeltje.



Figuur 3.10: De looping van La Via Volta.



4. Attracties

In Walibi World in de Flevopolder zijn talloze attracties te vinden. Sommige van deze attracties zijn enorm spectaculair, terwijl anderen juist interessant zijn vanwege hun eenvoudige karakter. In dit hoofdstuk staat een opsomming weergegeven van de attracties in Walibi World die interessant (kunnen) zijn voor krachtmetingen en/of videometingen.

4.6. G-Force



Figuur 4.6: G-Force.

Ook de G-Force (zie figuur 4.6) was vroeger vaak op kermissen te vinden. In deze attractie neemt de passagier plaats in een gondel, die verbonden is aan een rad. Dit rad wordt vervolgens in een verticale rotatie gebracht. De verticale eenparige cirkelbeweging die op deze manier ontstaat, is erg geschikt voor allerlei experimenten. Zo kan het gewicht in (bijvoorbeeld) het hoogste en laagste punt van de baan gemeten worden, maar ook voor videometing is deze attractie erg geschikt.

4.8. Goliath

De stalen achtbaan Goliath (zie figuur 4.8) mag waarschijnlijk wel het vlaggenschip van attractiepark Walibi World genoemd worden. Goliath is dan ook de hoogste, snelste en langste achtbaan van de Benelux. Vanwege de enorme hoogte van de toppen van de baan, kan het treintje van Goliath enorme snelheden bereiken. Dientengevolge zullen er aanzienlijke versnellingen en G-krachten optreden. Ook de wet van behoud van energie speelt bij Goliath een prominente rol. Wel kan er steeds slechts een gedeelte van de baan bestudeerd worden, vanwege de omvang van de attractie.



Figuur 4.8: Goliath.

4.18. Space Shot



Figuur 4.18: Space

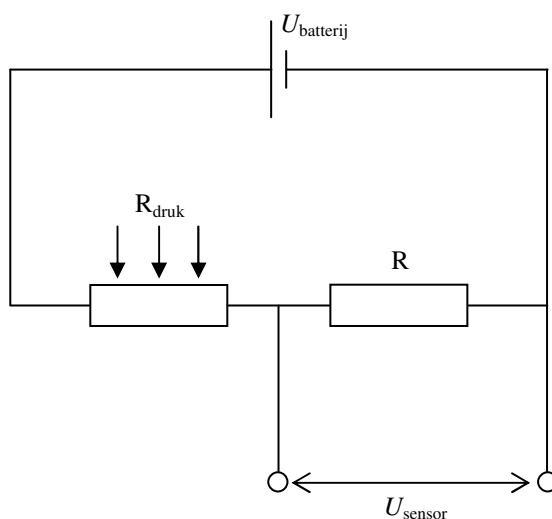
De Space Shot (zie figuur 4.18) is een zogenaamde lanceerattractie. De ring, waaraan twaalf stoeltjes bevestigd zijn, wordt op een gegeven ogenblik verticaal omhoog geschoten. Volgens de specificaties van de attractie zou de G-kracht tijdens de lancering een waarde van 4,0 bereiken. In het hoogste punt aangekomen, valt de ring weer over een afstand naar beneden, waarna er een tweede (veel kleinere) lancering plaatsvindt. De Space Shot is bij uitstek geschikt voor krachtmetingen, vanwege het eenvoudige karakter van de beweging. Videometen kan alleen met gebruikmaking van een snelle camera.

5. Krachtmetingen

Voor bewegingen zijn krachten nodig. Afhankelijk van het bewegingstype dat aan de orde is, kan krachtwerking geanalyseerd worden. Vaak wordt er hierbij gekeken naar de resulterende kracht. Is deze gelijk aan 0 N dan is er sprake van stilstand of een eenparige beweging. Is de resulterende kracht echter niet gelijk aan 0 N dan kan er bijvoorbeeld sprake zijn van een (eenparig) versnelde beweging, een cirkelbeweging of een (harmonische) trilling. In dit hoofdstuk worden krachten, en dan in het bijzonder de gewichtskraft, gemeten met behulp van een krachtsensor.

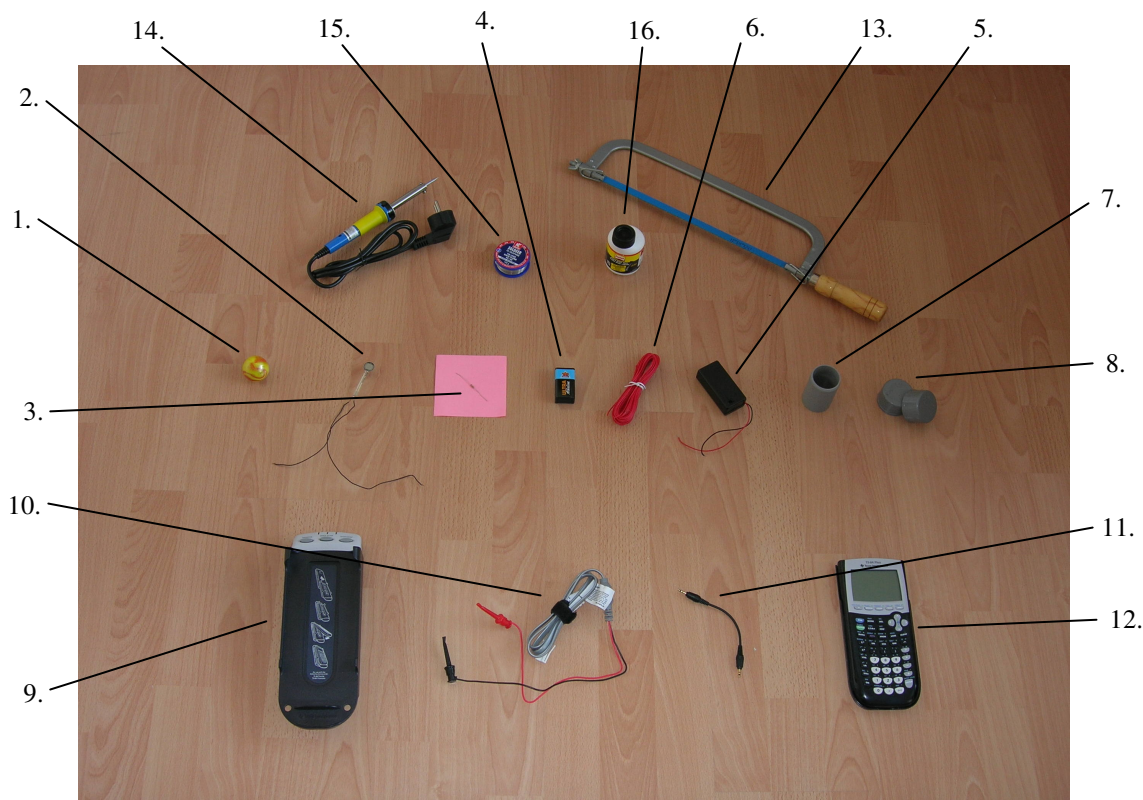
5.3. Opbouw van de krachtsensor

In figuur 5.3 is de elektrische schakeling voor de krachtsensor schematisch weergegeven. De werking van deze schakeling is als volgt.



De schakeling is opgebouwd uit een batterij ($U_{\text{batterij}} = 9,0 \text{ V}$), een vaste weerstand R en de drukweerstand R_{druk} . Als de kracht op de drukweerstand toeneemt, zal de weerstandswaarde van deze weerstand afnemen. Dientengevolge zal ook de spanning over de drukweerstand afnemen. De spanning over de vaste weerstand zal in deze situatie toenemen. De drukweerstand en de vaste weerstand vormen immers een serieschakeling. Voor de krachtsensor is het wenselijk dat de sensorspanning toeneemt bij een toenemende kracht. De sensorspanning zal daarom gemeten worden over de vaste weerstand.

Figuur 5.3: Elektrische schakeling voor de krachtsensor.



Figuur 5.4: Materialen voor het bouwen van de krachtsensor.



Voor het bouwen van de krachtsensor zijn de onderdelen nodig zoals weergegeven in figuur 5.4. In deze figuur staan de volgende zaken weergegeven:

1. knikker of kogel (diameter ongeveer 35 mm),
2. drukweerstand FSR 151 van Conrad Electronics,
3. vaste weerstand (weerstandswaarde in zelfde grootte orde als drukweerstand bij belasting met de toegepaste knikker of kogel),
4. batterij ($U = 9,0 \text{ V}$),
5. batterijhouder,
6. elektriciteitsdraad,
7. PPC buisje (lengte ongeveer 5,0 cm en (buiten)doorsnede 40 mm),
8. 2 PVC afsluitdoppen (binnendiameter 40 mm),
9. Texas Instruments CBL2TM datalogger,
10. spanningskabel horend bij de Texas Instruments CBL2TM datalogger,
11. verbindingssnoertje voor CBL2TM datalogger en grafische rekenmachine,
12. grafische rekenmachine (TI-83-plus, TI-84 of TI-84-plus),
13. dunne ijzerzaag of figuurzaag,
14. soldeerbout,
15. soldeertin,
16. PVC-lijm.