

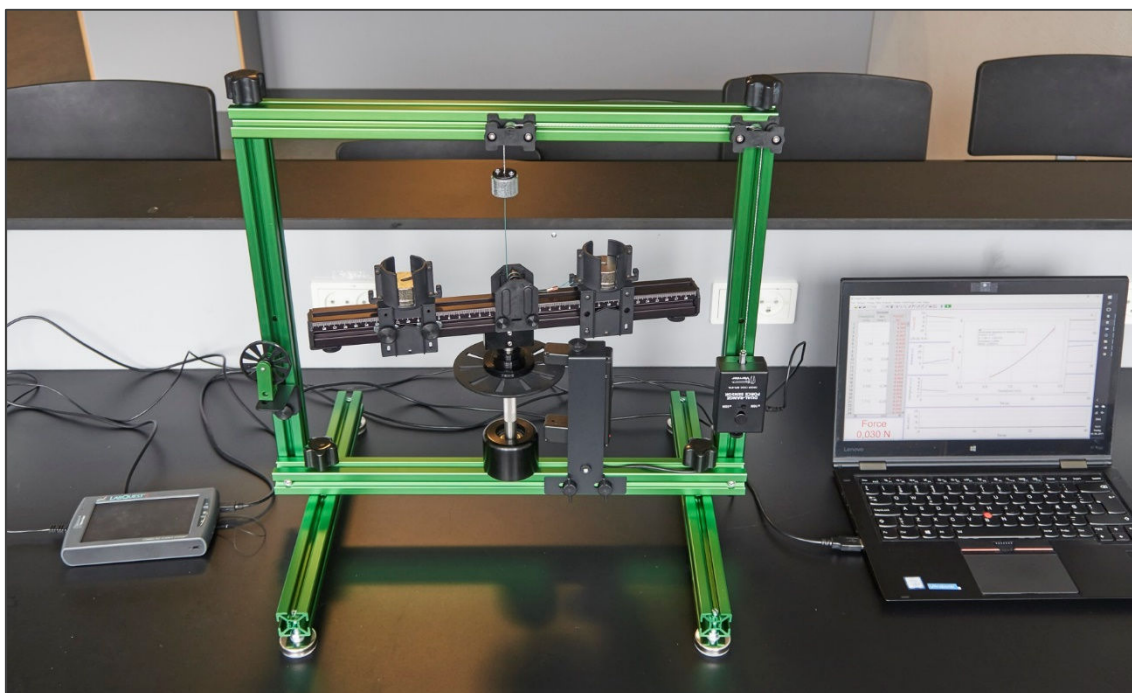
Jævn cirkelbevægelse udført med udstyr fra Vernier

Formål

Formålet med denne øvelse er at eftervise følgende formel for centripetalkraften på et legeme, der udfører en jævn cirkelbevægelse:

$$(1) \quad F = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

hvor m er massen, v hastigheden og r er radius i cirkelbevægelsen.



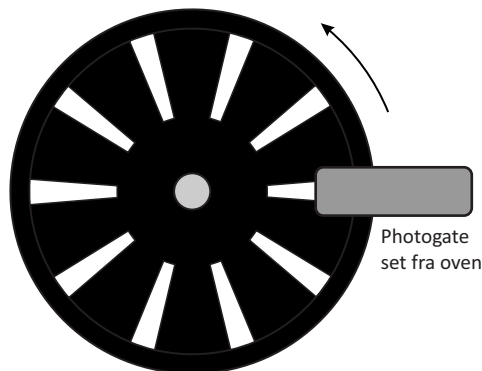
Udførelse

Det antages her, at apparatet er skruet sammen og Dual-Range Force Sensor og Photogate fra Vernier er fæstnet på rammen. Er dette ikke tilfældet, kan man med fordel betragte en video fra Verniers hjemmeside: <http://www.vernier.com/products/lab-equipment/cfa/>. Denne video viser også, hvordan udstyret sættes op.

1. Sørg for at den roterende arm er i vater. Det kan man gøre med et lille vaterpas eller på følgende måde: Læg nogle lodder i den faste vogn og skru den løs og sæt den ud i enden af armen og skru den fast her. Rotér herefter armen og iagttag, om massen har en tendens til at falde til hvile i en bestemt position. Det kan være et lavt punkt. Er udstyret ikke i niveau, kan man skru på de brede skuer, som udgør foden af udstyret, indtil den roterende arm er i vater (altså i vandret niveau).
2. Photogaten tilsluttes den digitale indgang på en LabQuest, og Dual-Range Force Sensor tilsluttes den analoge port på samme LabQuest. Husk lige at den lille skyder inderst på Photogaten skal være skubbet til siden, så lasersignalet ikke blokeres. Endelig kobles en computer til LabQuest'en via et dedikeret USB-kabel.
3. Dual-Range Force Sensoren skal indstilles til området ± 10 N på selve sensoren.

Delforsøg 1 (Kraft som funktion af hastighed)

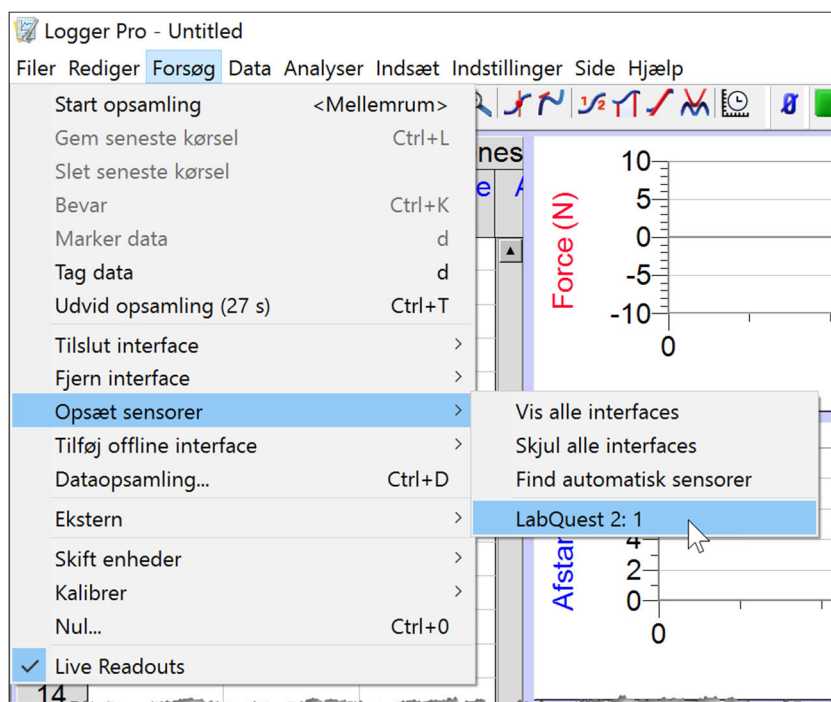
Vi skal her foretage sammenhørende målinger af centripetalkraften F og hastigheden v af den bevægelige vogn + lodder. Kraften måles af *Dual-Range Force* sensoren via en snor som løber over nogle trisser. Når vogn+lodder sættes i rotation, vil snoren spændes ud, og det er denne snorkraft, som omtalte kraftsensor måler. Hastigheden måles indirekte ved, at en vandret roterende skive med spalter passerer forbi Photogaten. Denne sensor kan måle den tid Δt , der går mellem at laserstrålen i Photogaten går igennem en spalte til strålen går igennem den næste spalte. Via softwaren kan det omsættes til en hastighed. Softwaren skal dog vide, hvor stor en strækning Δs , som vogn+lodder har tilbagelagt i løbet af tidsrummet Δt . Da der er 10 spalter i skiven, er der tilbagelagt $1/10$ omkreds. Idet r betegner radius i den cirkel, som vogn+lodder beskriver under rotationen, fås hastigheden v ved:



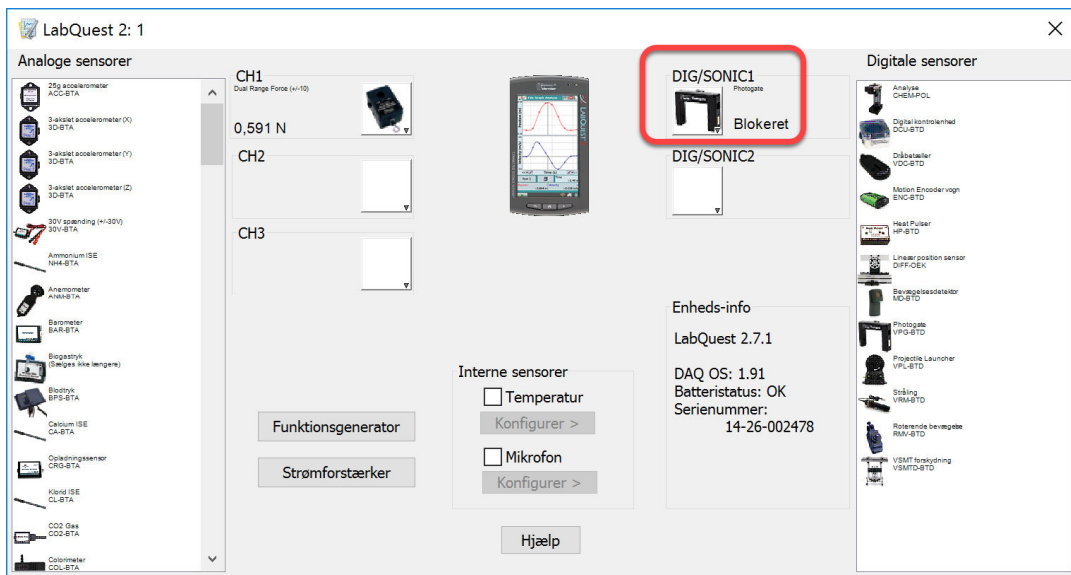
$$(1) \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{10} \cdot 2\pi \cdot r}{\Delta t}$$

Længere nede i vejledningen ser vi på, hvordan man oplyser softwaren om den tilbagelagte strækning Δs . Vi er nu klar til at gå videre i Logger Pro.

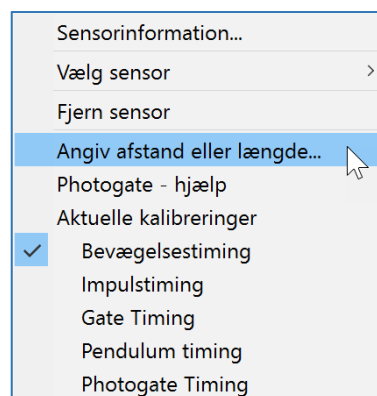
1. Vælg menuen *Forsøg > Opsæt sensorer > LabQuest 2: 1*, som vist herunder:



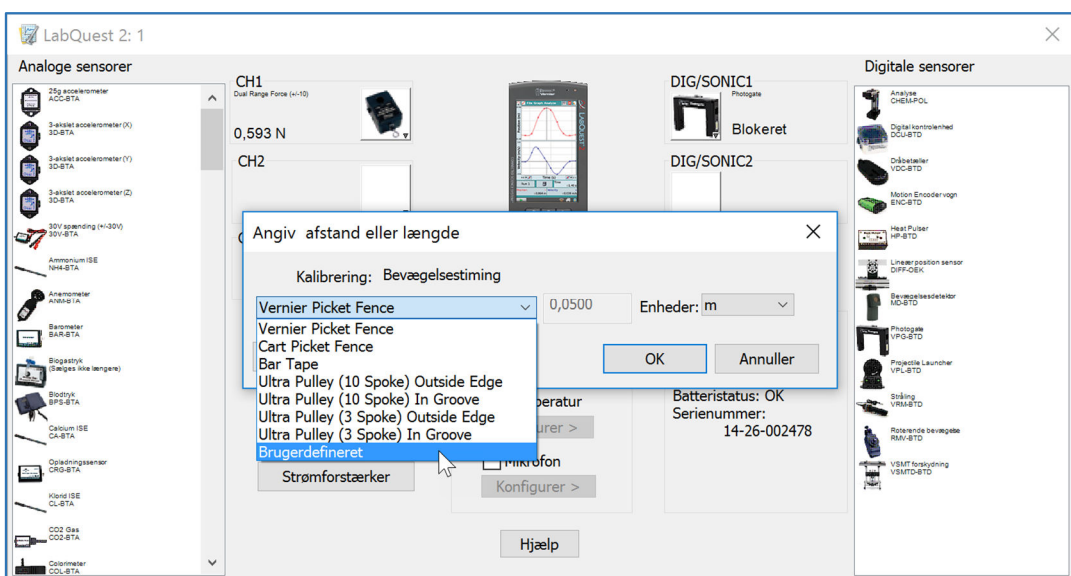
2. I den fremkomne dialogboks (se næste side) klikkes på ikonen med Photogaten.



3. Her er muligheder for at foretage indstillinger for hvilken funktion Photogaten skal have. For det første skal man sikre sig, at *Bevægelsestiming* er valgt. Dernæst skal man vælge punktet *Angiv afstand og længde*.



4. Vælg punktet *Brugerdefineret* i den viste rullemenu i den fremkomne dialogboks:



5. Det er her, vi skal angive den tilbagelagte strækning, som er omtalt ovenfor. Da vi agter at placere den bevægelige vogn i afstanden 10 cm fra rotationsaksen, har vi:

$$\Delta s = \frac{1}{10} \cdot 2\pi \cdot r = \frac{1}{10} \cdot 2\pi \cdot 0.10 \text{ m} = 0,0628 \text{ m}$$

Dette resultat anføres i boksen:

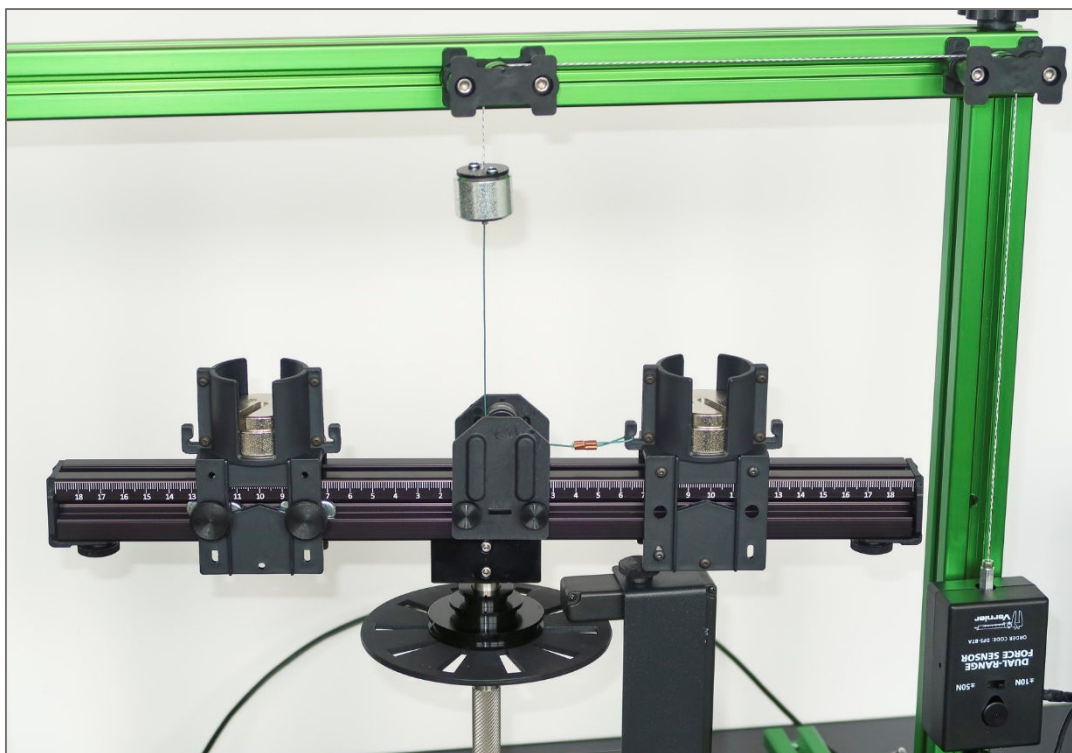
Angiv afstand eller længde ×

Kalibrering: Bevægelsestiming

Brugerdefineret 0,0628 Enheder: m ▾

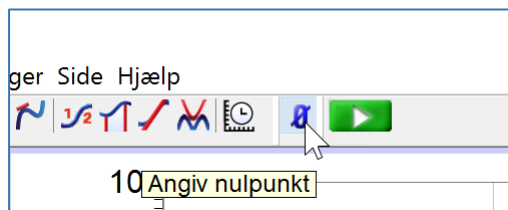
Hjælp OK Annuller

6. Brug menuen *Forsøg > Dataopsamling (Ctrl+D)* til at indstille, at der måles i 40 s.
7. Fastgør den faste vogn, så den er ud for 10 cm på linealen.



8. Fasthold med venstre hånd den bevægelige vogn ud for 10 cm på den anden side af rotationsarmen, mens du med højre hånd frigør skruen, som holder kraft-sensoren fast på den lodrette opstander. Sørg for at anbringe kraft-sensoren i den højde, der gør at snoren over trisserne er spændt ud. Fastgør da kraft-sensoren igen.
9. Anbring det samme antal lodder, fx 100 gram i hver af de to vogne. Det er vigtigt, at den bevægelige vogn har samme afstand til aksen, som den faste vogn har, samt at masserne af vognene med lodder er ca. den samme. Den faste vogns funktion er nemlig at agere kontravægt til den bevægelige vogn, så der opnås en så stabil bevægelse som muligt. **Bemærk, at den bevægelige vogn uden lodder vejer 52 g.** Dermed vil den samlede vægt af vogn+ lodder i dette tilfælde være 152 g.

10. Nulstil kraftmåleren ved at klikke på den Ø-lignende ikon i værktøjslinjen, mens rotationsarmen er i ro og snoren ikke er spændt ud.



11. Vi er nu klar til at foretage målinger: Sæt rotationsarmen i omdrejninger ved med fingrene at dreje rundt på det ru stykke af omdrejningsaksen. Der skal drejes så hurtigt rundt, at kraftmålerens visning starter et sted mellem 3 og 5 N.
12. Flyt fingrene fra omdrejningsaksen og tryk på den grønne knap i Logger Pro, så målingerne kan begynde. Rotationsarmen vil rotere langsommere og langsommere på grund af den uundgåelige friktion. Det er dog en fordel her, for på den måde, får vi i et genneløb foretaget kraftmålinger ved varierende hastigheder!

Databehandling til delforsøg 1

- A. Vi er nu klar til databehandling: Vi vil jo gerne studere kraftens afhængighed af hastigheden. Hvis man forsøger at lave en graf med hastigheden på 1. akse og kraften på 2. akse kan man nemt bliver forvirret: Der viser sig nemlig slet ikke nogen punkter! Årsagen er, at Logger Pro ikke tager kraftmålinger mens strålen i Photogaten er brudt. Derfor er der ingen målinger af kraft og hastighed til de samme tidspunkter! Løsningen er at foretage *linear interpolation*. I Logger Pro gøres det ved at lave en *Ny beregnet kolonne (New Calculated Column)* via menuen *Data*. Skriv følgende i dialogboksen:

A screenshot of a dialog box titled 'Indstillinger for beregnet kolonne'. It has two tabs: 'Kolonnedefinition' and 'Indstillinger'. The 'Indstillinger' tab is active. Under 'Labels og enheder:', there is a 'Navn:' field with 'Force2', a 'Kaldenavn:' field with 'Force2', and an 'Enheder:' field with 'N'. Under 'Destination:', there is a 'Datasæt:' dropdown menu and a checkbox 'Føj til alle tilsvarende datasæt'. Under 'Udtryk:', there is a text area containing the formula 'interpolate("Force", "Tid")'. At the bottom, there is a checkbox 'Vis under Live Readouts' and three buttons: 'Funktioner >', 'Variabler (kolonner) >', and 'Parametre >'. At the very bottom are 'Hjælp', 'Udført', and 'Annuller' buttons.

hvor de oprindelige kraftmålinger findes i kolonnen "Force" og tidsmålingerne i kolonnen "Tid". Kolonnen med de interpolerede kraftværdier har vi betegnet "Force2". Tryk på *Udført*. Hermed skulle du være i stand til at lave en graf for kraft som funktion af hastighed, hvor du bruger "Force2" på 2.aksen. Sørg for at koordinatsystemet starter i (0,0), så man tydeligere kan se sammenhængen.

- B. Foretag kurvefit med en funktion på formen $F(v) = k \cdot v^2$, hvor v er hastigheden. Redegør for, hvorfor det bekræfter formlen for centripetalkraften på dette punkt. Hvor godt stemmer fit-konstanten k overens med den teoretiske, altså den der fremgår af formel (1)? Angiv fejlkilder/usikkerheder.

Delforsøg 2 (Kraft som funktion af masse)

I dette delforsøg fastholder vi hastighed og radius og undersøger, hvordan centripetalkraften afhænger af massen. Vi fastholder radius på 10 cm ligesom i første delforsøg. Den faste hastighed vælger vi til at være 1,2 m/s. Vi vil variere lodmasserne fra 0 til masserne fra 0 til 250 g i spring på 50 g. Da vognen i sig selv har massen 52 g, foretager vi målinger for følgende samlede masser, målt i gram: 52, 102, 152, 202, 252, 302. Vi kunne i princippet for en given masse sætte rotationsarmen i gang og efterfølgende lede efter hastigheden 1,2 m/s i hastighedskolonnen for at få den samtidige kraft. Da usikkerhederne imidlertid normalt er større ved enkeltmålinger end når man inddrager flere, er det mere sikkert at bruge det fit af formen $F(v) = k \cdot v^2$, som vi også var inde på i 1. delforsøg.

Praktisk!

Når der i det følgende skal laves én Logger Pro fil for hver masse, er det praktisk at gemme filen fra den aktuelle måling i et nyt navn, som skal repræsentere den næste måling. Derved slipper man for at gentage alle de sensor-opsætninger og andre indstillinger, som er omtalt i punkterne i forrige delforsøg. Også fit kan man slippe for at gentage.

Fremgangsmåden er følgende:

1. Anbring den aktuelle masse i både den faste og den bevægelige vogn
2. Nulstil kraftmåleren
3. Snur rotationsarmen rundt med fingeren, slip og tryk derefter på den grønne dataopsamlings-knap. Der skal snurres så hurtigt rundt, at kraften i begyndelsen ligger i området 3-7 N, lidt afhængig af masse. Samme opsætning som i forrige delforsøg, dvs. der måles fx i 40 s.
4. Noter k -værdien for fittet $F(v) = k \cdot v^2$.
5. Gem filen, men gem den også i et nyt navn, som skal høre til næste masse.
6. Gentag punkterne 1-5 med en ny masse.

Databehandling

- A. Lav en ekstra Logger Pro fil, hvori første kolonne skal indeholde masserne, den anden skal indeholde de tilhørende konstanter fra ovennævnte fit, og den tredje skal være en *Ny beregnet kolonne*, hvor kraften udregnes via $F(v) = k \cdot v^2$ med udgangspunkt i hastigheden $v = 1,2 \text{ m/s}$. Skriv altså følgende i beregningsfeltet: "k"*1,2^2

	Datasæt		
	m (kg)	k (N/(m/s)^2)	Kraft (N)
1	0,052		
2	0,102		
3	0,152		
4	0,202		
5	0,252		
6	0,302		

- B. Lav en punkt-graf for kraften som funktion af massen.
 C. Foretag lineær regression. Kan du bekræfte, at centripetalkraften er proportional med massen?

Delforsøg 3 (Kraft som funktion af radius)

I det sidste delforsøg fastholder vi masse og hastighed og undersøger, hvordan centripetalkraften afhænger af radius i cirkelbanen. Vi fastholder en masse på 152 g, svarende til en lodmasse på 100 g og igen vælger vi den faste hastighed til 1,2 m/s. Vi vil variere radius fra 8 cm til og med 16 cm i spring på 2 cm. Ellers foregår målingerne på samme måde som i delforsøg 2 med at foretage et fit for at bestemme konstanten k . Der er dog én ting, man skal huske: Da radius ændres fra måling til måling, skal vi ved hver måling ind i sensor-opsætningen for Photogaten for at sætte en afstand – som beskrevet under punkt 5 i delforsøg 1. Der laves én fil for hver værdi af radius.

Fremgangsmåden er følgende:

1. Fastgør den faste vogn i den aktuelle radius fra rotationsaksen.
2. Indstil kraft-sensorens position på den lodrette opstander, så den bevægelige vogn vil udføre en cirkelbevægelse med den aktuelle radius.
3. Benyt teknikken fra 1. delforsøg punkt 1-5 til i Logger Pro at indstille den afstand for Photogaten, som hører til den aktuelle radius.
4. Nulstil kraftmåleren
5. Snur rotationsarmen rundt med fingeren, slip og tryk derefter på den grønne dataopsamlings-knap. Der skal snurres så hurtigt rundt, at kraften i begyndelsen ligger i området 3-5 N. Samme opsætning som i forrige delforsøg, dvs. der måles fx i 40 s.
6. Noter k -værdien for fittet $F(v) = k \cdot v^2$.
7. Gem filen, men gem den også i et nyt navn, som skal høre til næste radius.
8. Gentag punkterne 1-5 med en ny radius.

Databehandling

- A. Lav en ekstra Logger Pro fil, hvori første kolonne skal indeholde radierne, den anden skal indeholde de tilhørende konstanter fra fittet, og den tredje skal være en *Ny beregnet kolonne*, hvor kraften udregnes via $F(v) = k \cdot v^2$ med udgangspunkt i hastigheden $v = 1,2 \text{ m/s}$. Skriv altså følgende i beregningsfeltet: "k"*1,2^2

	Datasæt		
	r (m)	k (N/(m/s)^2)	Kraft (N)
1	0,080		
2	0,100		
3	0,120		
4	0,140		
5	0,160		

- B. Lav en punkt-graf for kraften som funktion af radius.
 C. Foretag et fit med en funktion af typen $F(r) = a/r$. Kan du bekræfte, at centripetal-kraften er omvendt proportional med radius?

Bemærkninger

I stedet for at lave et fit med en funktion af formen $F(v) = k \cdot v^2$ i de enkelte delforsøg, kan man vælge at udføre et fit med $F(v) = k \cdot v^2 + b$ for at opsamle mulige nulpunktsfejl i kraftmåleren (på trods af, at den er nulstillet). Det giver lidt bedre resultater!

Alternativt til Dual-Range Force Sensor kan man bruge en Wireless Dynamic Sensor System (WDSS), også fra Vernier. Som man kan se på billedet på første side, følger der også en *Ultra Pulley* med udstyret. Den kan gøres fast på den ene opstander. Ved at snurre en snor flere gange rundt om en af de vandrette ringe på den roterbare akse, lade tråden gå hen over trissen og hænge ned med et lod for enden, kan man tilføje et kraftmoment til systemet og derved studere *vinkelacceleration* og endda *inertimoment*.