



FORMLERNE BAG VERDEN 2 NEWTONS LOVE

SE FILMEN:

I dette forløb arbejder eleverne undersøgende med Newtons tre love gennem en række praksisnære og motiverende eksperimenter. Forløbet har til formål at give eleverne en konkret og erfaringsbaseret forståelse af, hvordan kræfter som tyngdekraft, opdrift og luftmodstand spiller sammen og bestemmer bevægelsen af både hverdagsksempler og mere ekstreme fænomener – fra papirfly til astronauter i kredsløb om Jorden.

Gennem systematiske observationer, modeller og eksperimentelt arbejde får eleverne erfaring med, hvordan bevægelse sættes i gang, ændres og standses, og hvordan disse ændringer kan forklares ved hjælp af Newtons love. Forløbet understøtter elevernes kompetence i at beskrive og forklare bevægelse i en verden, der konstant er i forandring.

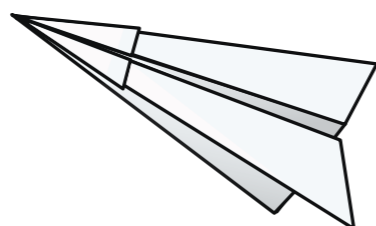
I FORLØBET KOMMER ELEVERNE BL.A. TIL AT:

- undersøge, hvordan forskellige kræfter påvirker et papirfly og dets bevægelse
- eksperimentere med vingeformer for at opnå indsigt i, hvordan opdrift opstår
- arbejde med fænomenet stall og undersøge, hvordan tab af opdrift påvirker bevægelse
- undersøge frit fald og luftmodstand, herunder hvordan en faldskærm påvirker faldhastigheden
- arbejde med begrebet vægtløshed i forbindelse med kredsløb og frit fald
- sammenligne opdrift og tyngdekraft gennem en vejrballon-test

Forløbet lægger vægt på koblingen mellem teori og praksis og giver eleverne mulighed for at anvende Newtons love som forklaringsmodel i både hverdagsnære og naturvidenskabelige sammenhænge – fra faldskærmsudspring og flyvning til rumfart.

BEGREBSLISTE TIL KAPITLET:

- Opdrift
- Tyngdekraft
- Fremdrift
- Acceleration
- Legeme
- Masse
- Resulterende kraft
- Luftmodstand
- Tyngdeacceleration
- Vægtløshed
- Frit fald



**NEWTONS LOVE:
FORMLERNE BAG VERDEN - NATURFAG MED FLYVEVÅBNET.
EP 2**

1) FIRE KRÆFTER PÅ ET PAPIRFLY

FORMÅL

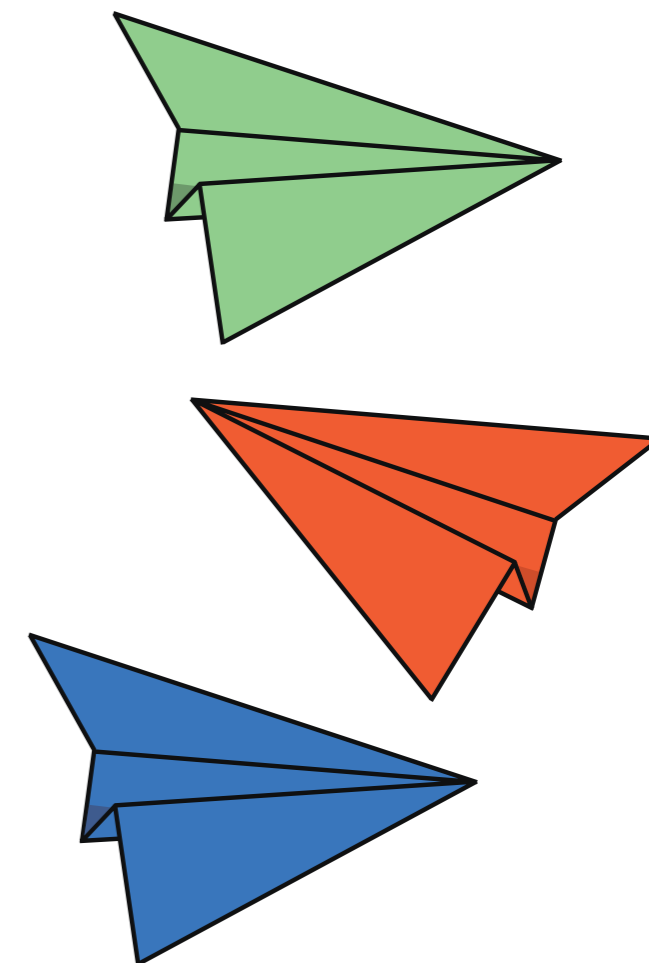
At undersøge, hvordan opdrift, tyngdekraft, fremdrift og luftmodstand påvirker et papirfly i luften.

MATERIALER

- Papirfly
- Målebånd
- Stopur (eller mobil)
- Tape til startlinje
- Evt. papirclip og blyant

FREMGANGSMÅDE

1. Fold et papirfly.
2. Marker en startlinje.
3. Tegn et dataopsamlingskema som vist herunder.
4. Kast flyet fem gange med samme kraft og vinkel.
5. Mål, hvor langt flyet svæver (fra startlinje til landing).
6. Tag tid fra kast til landing.
7. Gentag, hvor I ændrer én variabel (uafhængig variabel). Sæt fx en papirclip på snuden, eller bøj vingerne lidt op eller ned. Tegn et dataopsamlingskema for hvert forsøg med en ny uafhængig variabel.



DATAOPSAMLINGSSKEMA

FORSØG	KASTELÆNGDE (M)	TID I LUFTEN (S)	HASTIGHED = LÆNGDE / TID (M/S)
1			
2			
...			

TAL SAMMEN OM

- Hvad sker der, når I ændrer på flyet?
- I hvilket forsøg fløj flyet længst? Hvorfor?
- Hvordan kan man forbedre flyets svævelængde?

2) DESIGN OG TEST VINGER

FORMÅL

At undersøge, hvordan forskellige vingedesign skaber opdrift i en luftstrøm.

MATERIALER

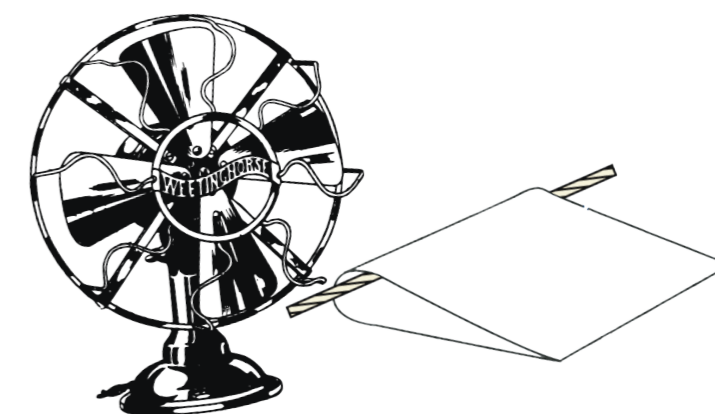
- Karton eller papir
- Sugerør eller pind (til at holde vingen)
- Hårtørrer (eller anden luftblæser)
- Vinkelmåler
- Mobil eller andet til at optage/fotografere
- Tape og lim

FREMGANGSMÅDE

1. Design og byg mindst tre forskellige vinger fx:
 - Flad vinge
 - Buet vinge (som en flyvinge)
 - Skrå vinge
2. Sæt hver vinge fast på et sugerør eller pind.
3. Hold vingen i luftstrømmen fra hårtørreren.
4. Film eller fotografer forsøget fra siden, så I efterfølgende kan måle vingsens maksimale udslag med en vinkelmåler. Mål vingsens løft fra vandret og op.
5. Gentag med hvert vingedesign.

DATAOPSAMLING

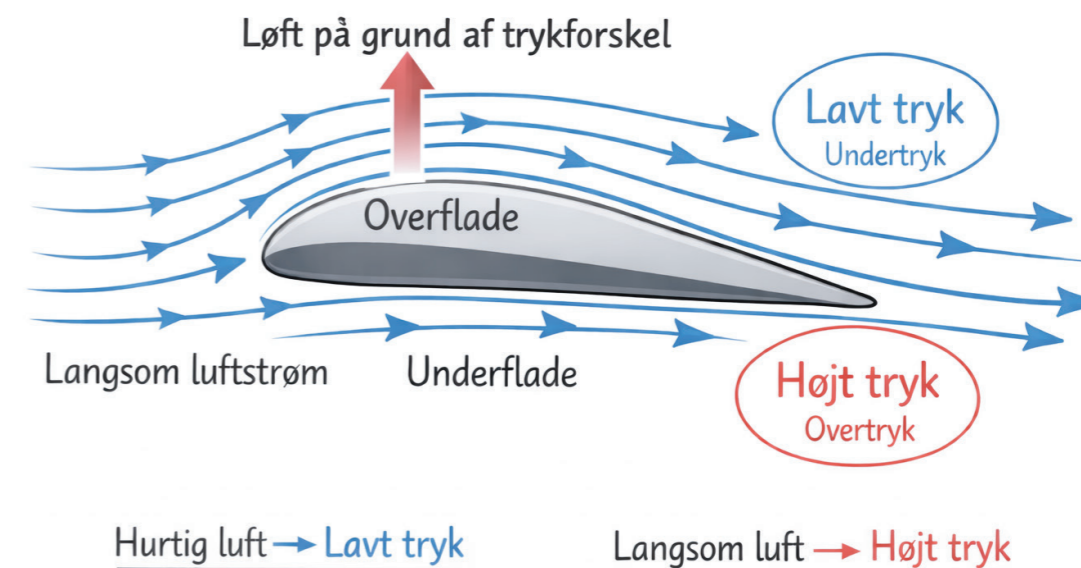
VINGEDSIGN	VINGENS LØFT I GRADER
FLAD	
BUET	
SKRÅ	



BERNOULLIS PRINCIP

Når luft bevæger sig hurtigt hen over vingen, skabes der lavt tryk ovenpå. Det betyder, at luften nedenunder presser mere og vingen bliver løftet. Det kaldes opdrift.

Bernoullis princip ved en flyvinge



TAL SAMMEN OM

- Hvilken vingeform blev løftet mest?
- Hvorfor giver en buet vinge mere opdrift end en flad?
- Hvad sker der, hvis man øger luftens hastighed (skruer op for luftstrømmen)?

3) "STALL" - NÅR OPDRIFTEN FORSVINDER

FORMÅL

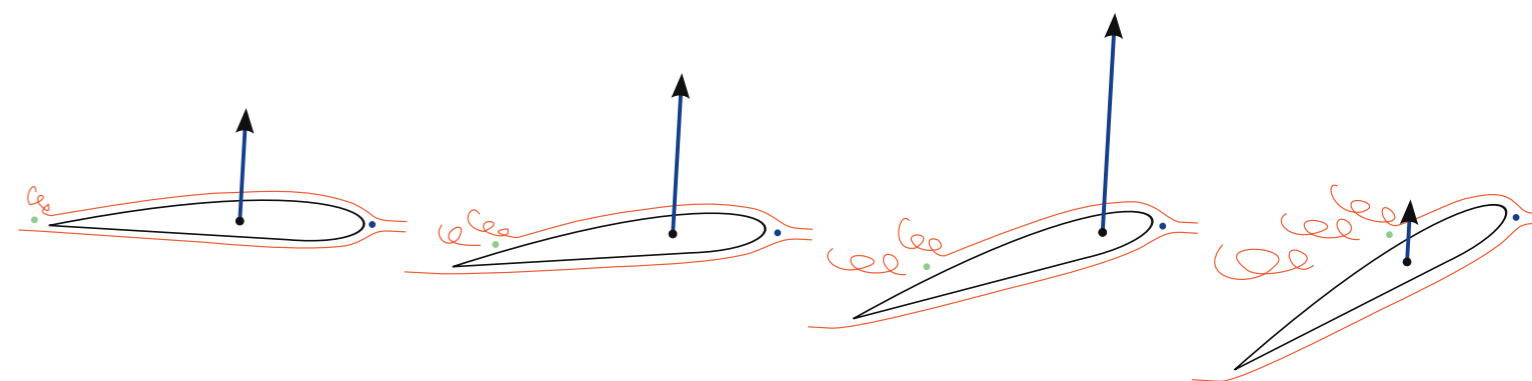
At undersøge, hvad der sker, når en vinge får for høj vinkel og mister opdrift - kaldet stall.

MATERIALER

- Vinge lavet af karton
- Hårtørrer (eller luftblæser)
- Vinkelmåler (evt. lavet af pap og gradskive)
- Lineal eller målebånd
- Mobil med kamera (til slowmotion - valgfrit)

FREMGANGSMÅDE

1. Hold vingen i luftstrømmen med en lille vinkel (fx 5°).
2. Mål hvor højt vingen løftes.
3. Øg vinklen lidt (fx til 10° , 15° , 20° ...) og gentag.
4. Fortsæt til vingen ikke løftes mere eller falder - så har I nået stall.
5. Brug evt. optagelser i slowmotion til at se, hvornår og hvordan luftstrømmen slipper vingen.



DATAOPSAMLING

VINKEL	HØJDE (CM)	OPDRIFT (STOR/LILLE)
5°		
15°		
20°		
...		

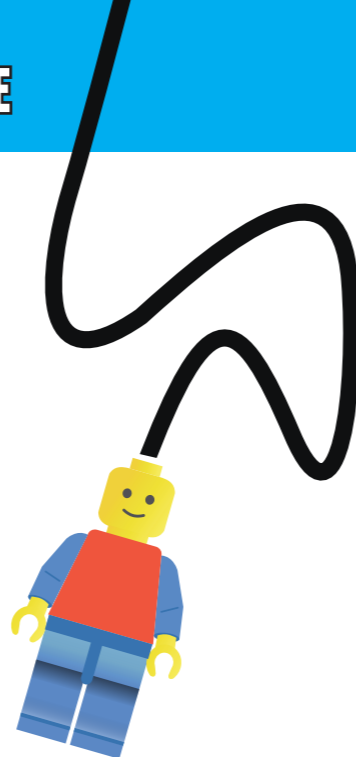
MODELLER: TEGN JERES DATA I EN GRAF

- X-akse = vinkel ($^\circ$)
- Y-akse = opdrift (cm)
- Find og marker det sted, hvor opdriften falder brat - det er stall-punktet.

TAL SAMMEN OM

- Hvad skete der, da I øgede vinklen?
- Hvorfor mister vingen opdrift efter stall-punktet?
- Hvordan kan piloter undgå stall?

4) BUNGY JUMP



FORMÅL

At forstå forskellen mellem frit fald og opdrift, og hvad der stopper et fald.

MATERIALER

- Elastiksnor (fx rund elastik eller tyk elastiktråd)
- Lille vægt (fx plastfigur eller lego-figur)
- Målebånd
- Stopur eller mobil til at måle tid
- Tape eller stativ til ophængning

FREMGANGSMÅDE

1. Sæt elastikken fast, og sæt "vægten" fast i enden.
2. Slip "vægten" fra samme højde hver gang.
3. Brug stopur til at måle hvor lang tid, den er om at falde.
4. Mål, hvor langt elastikken bliver strakt ud (fra startpunkt til laveste punkt).
5. Gentag forsøget tre gange for at være sikre.

DATAOPSAMLING

FORSØG	FALDTID (S)	MAKS. STRÆK (CM)	GENNEMSITSFART (CM/S) - FART
1			
2			
3			

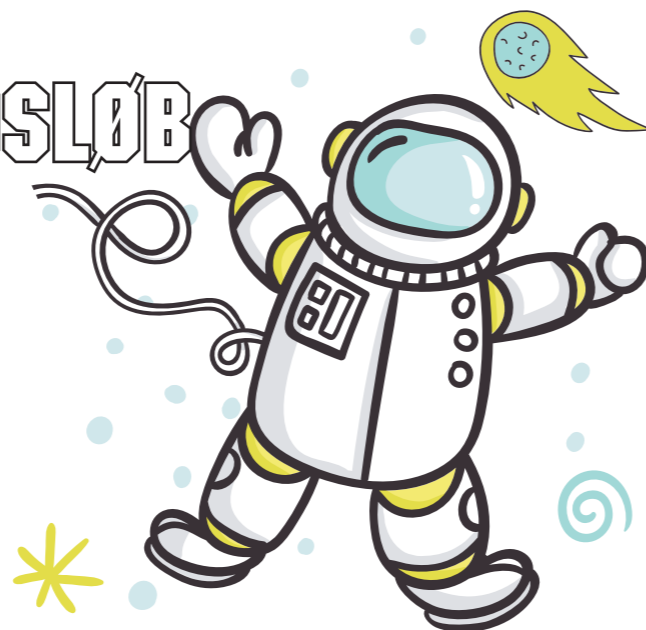
TEGNEOPGAVE

Tegn "vægten" og sæt kraftpile – tyngdekraften og elastikkens modkraft – på i disse situationer: Lige når der slippes, når elastikken begynder at strække, i bunden og på vej op igen. Vis med pile-nes tykkelse, hvilke kræfter der er stærkest i de forskellige situationer.

TAL SAMMEN OM

- Hvorfor falder figuren?
- Hvorfor hænger figuren til sidst stille?
- Hvad ville der ske, hvis elastikken var længere/kortere?

5) ASTRONAUT I KREDSLØB



FORMÅL

At arbejde med centripetalkraft gennem to modeller (vandret og lodret plan) og bruge dem til at forklare, hvorfor astronauter forbliver i kredsløb, og hvorfor de oplever vægtløshed.

MATERIALER

- Let bold (fx stofbold eller tennisbold)
- Snor (1-2 meter)
- Pæl, stolpe eller kraftig gren til at binde snoren fast
- Tavle eller papir til tegning
- (Evt. animation eller video om kredsløb og vægtløshed)

FREMGANGSMÅDE

Bind bolden fast i snoren. Bind den anden ende af snoren fast i en pæl, stolpe eller gren, så bolden frit kan bevæge sig.

Model 1: Kredsløb i vandret plan

1. Bind bolden på en pæl (lodret akse) som i stangtennis.
2. Sving bolden vandret rundt i en cirkel (parallelt med jorden). Tiltræb, at bolden bevæger sig med nogenlunde jævn fart.
3. Observer boldens bevægelse.

Tal sammen:

- Hvad holder bolden inde på cirkelbanen?
- Hvad sker der, hvis du slipper snoren?
- Hvilken rolle spiller snoren i denne model?

Model 2: Kredsløb i lodret plan

4. Monter bolden på en vandret akse. Sving nu bolden i et lodret plan, så den bevæger sig rundt som i en cirkel fra top til bund.
5. Hold farten så høj, at bolden ikke falder ned i bunden.
6. Observer især boldens bevægelse:
 - øverst i kredsløbet
 - i siderne
 - nederst i kredsløbet

Tal sammen:

- I hvilken del af kredsløbet hjælper tyngdekraften snoren?
- I hvilken del arbejder snoren mest?
- Hvad sker der, hvis farten bliver for lille?

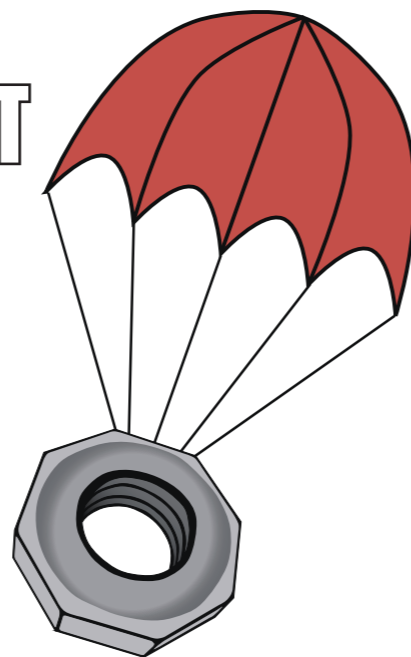
EFTERARBEJDE

- Hvad viser lodret plan-modellen, som minder om rigtige kredsløb?
- Hvad viser vandret plan-modellen, som minder om rigtige kredsløb?
- Hvad savner vi i vandret plan-modellen, når vi vil forklare vægtløshed?
- Hvorfor kan astronauter svæve, selvom tyngdekraften virker?
- Hvad skal der til for at gøre modellen mere realistisk?

Tegn Jorden og en satellit i kredsløb. Sæt pile på:

KRAFT	RETNING	FORKLARING
TYNGDEKRAFT	IND MOD JORDEN	TRÆKKER SATELLITTEN INDAD
FART	PÅ TVÆRS AF KREDSLØBET	GØR AT SATELLITTEN "MISER" JORDEN OG FORTSÆTTER RUNDT

6) LUFTMODSTAND OG FART UNDER FRIT FALD


FORMÅL

At undersøge sammenhængen mellem luftmodstand, og den hastighed, et objekt opnår, under frit fald.

MATERIALER

- Plastikposer (til faldskærme)
- Snor (4 stk. pr. faldskærm)
- Små vægte (fx skruer, møtrikker eller små sten)
- Saks og tape
- Målebånd
- Stopur eller mobil til at måle tid

FREMGANGSMÅDE

1. Byg faldskærme i forskellige størrelser (fx 10×10 cm, 20×20 cm, 30×30 cm).
2. Tape snore fast i hjørnerne og bind vægte i midten. Brug samme længde snore og samme vægt til alle faldskærmene.
3. Slip faldskærmene fra samme højde (fx fra en trappe).
4. Mål falddtiden med stopur.
5. Gentag forsøget tre gange pr. faldskærm.

DATAOPSAMLING

FALDSKÆRMS-AREAL (CM ²)	FALDTID 1 (S)	FALDTID 2 (S)	FALDTID 3 (S)	GENNEMSIT

TEGN EN GRAF

- X-akse: Faldskærmsareal
- Y-akse: Falddtid

Hvad viser jeres undersøgelse om sammenhængen mellem areal og falddtid?

Tip: Lav evt. regressionsanalyse i fx GeoGebra.

TEGN EN MODEL AF EN FALDSKÆRM MED KRAFTPILE

TIDSPUNKT	TYNGDEKRAFT (NED)	LUFTMODSTAND (OP)
LIGE NÅR DEN SLIPPES	JA	LIDT
MIDT I FALDET	JA	MERE
TIL SIDST (FØR LANDING)	JA	LUFTMODSTAND = TYNGDEKRAFT → FART STABILISERES

Når luftmodstand = tyngdekraft → faldet stopper med at accelerere = balance.

TAL SAMMEN OM

- Hvorfor falder større faldskærme langsommere?
- Hvornår er der balance mellem kræfterne?
- Kan man få faldskærmen til at "stalle" altså gå i stå?

7) OPDRIFT VS. TYNGDEKRAFT



FORMÅL

At undersøge, hvordan opdrift virker imod tyngdekraft, og hvornår en ballon kan svæve eller løfte noget.

MATERIALER

- Balloner med henholdsvis atmosfærisk luft og helium
- Snor
- Små vægte (fx papirclips, møtrikker, viskelædere)
- Vægt/skala (eller bare tæl antal clips)
- Lineal eller målebånd

FREMGANGSMÅDE

1. Fyld balloner med henholdsvis luft og helium.
2. Bind en snor i hver ballon.
3. Hæng vægte under ballonerne én ad gangen.
4. Hold en ballon ud i skulderhøjde, slip ballonen og observer, om ballonen falder, svæver eller løfter vægten?
5. Tilrettelæg og udfør forsøg, hvor I varierer ballonstørrelse, luftart, antal balloner mm. Lav et nyt dataopsamlingskema for hver gang, I vælger en ny uafhængig variabel.

DATAOPSAMLING

UAFHÆNGIG VARIABEL:
 AFHÆNGIG VARIABEL: VÆGT
 KONTROLVARIABLER:

BALLON	VÆGT TILFØJET	OBSERVATION

TEGN SØJLEDIAGRAMMER OVER JERES RESULTATER

- X-akse: Ballontype
- Y-akse: Antal vægte/vægt der løftes

TEGN BALLONER MED KRAFTPILE

SITUATION	OPDRIFT (OP)	TYNGDEKRAFT (NED)	SVÆVER?
INGEN VÆGT	STOR	LILLE	JA
LILLE VÆGT	LIDT STØRRE	LIDT STØRRE	MÅSKE
STOR VÆGT	FOR LILLE	STOR	NEJ

Når opdriften er lig med tyngdekraften, svæver ballonen.

TAL SAMMEN OM

- Hvad er forskellen på helium og atmosfærisk luft?
- Hvad skal der til, for at en ballon kan "bære" en last?
- Hvornår er ballonen i balance mellem opdrift og tyngdekraft?



LÆRERNOTER TIL ØVELSERNE

FAGLIG FORKLARING (LÆREROPLÆG ELLER EFTERARBEJDE)

TIP:

Hvis det kniber med mængden af udstyr, kan en række øvelser udvælges og gennemføres som værkstedsundervisning. Det er også en mulighed at lade eleverne gennemføre og bearbejde en enkelt øvelse gruppevis, som de efterfølgende kan demonstrere og forklare for hele klassen.

1) FIRE KRÆFTER PÅ ET PAPIRFLY

Dette forsøg giver eleverne en konkret og håndgribelig indføring i, at bevægelse i luften altid er resultatet af flere samtidige kræfter. Papirflyet fungerer som en overskuelig model, hvor eleverne kan se, måle og ændre virkningen af opdrift, tyngdekraft, fremdrift og luftmodstand. Forsøget er velegnet som introduktion til kræfter i bevægelse og som bro mellem mekanik og flyvning.

Forsøget understøtter arbejdet med:

- kræfter og bevægelse
- sammenhængen mellem design og funktion
- undersøgelseskompetence (variabler, gentagelser, data)

Når et papirfly kastes, påvirkes det hele tiden af fire kræfter:

- Tyngdekraft trækker flyet nedad.
- Fremdrift kommer fra kastet og sætter flyet i bevægelse fremad.
- Opdrift opstår, når luft strømmer omkring vingerne og giver en opadrettet kraft.
- Luftmodstand virker modsat bevægelsesretningen og bremser flyet.

Flyets bevægelse bestemmes af summen af disse kræfter. Når eleverne ændrer flyets udformning (fx vægtfordeling eller vingevinkel), ændrer det balancen mellem kræfterne. Det kan føre til længere svævetid, kortere kastelængde eller mere stabil flyvning.

Det er vigtigt at understrege, at:

- flyet ikke "har opdrift i sig selv" – opdrift opstår kun, når flyet bevæger sig gennem luften
- fremdriften kun virker i starten (kastet), hvorefter flyet glider

Udvidelser og variationer

- Vægtfordeling: Flyt papirclippen frem eller tilbage.

- Vingeform: Bøj vingernes bagkant op eller ned.
- Symmetri: Sammenlign symmetrisk og asymmetrisk foldning.
- Kasteteknik: Sammenlign fladt kast og skråt kast.
- Materiale: Brug tykkere eller tyndere papir.

Lad eventuelt eleverne lave en video-log, mens de udfører deres forsøg, hvor de redegør for deres overvejelser om:

- Den uafhængige variabel – den variabel de bevidst ændrer på
- Den afhængige variabel – den de måler på, og som ændrer sig, når de varierer den uafhængige variabel
- Kontrolvariabler – hvad de gør for at forsøgene bliver udført så ens som muligt hver gang

Dette giver eleverne mulighed for at træne og styrke deres mundtlige færdigheder.

2. DESIGN OG BYG VINGER

I dette forsøg undersøger eleverne opdrift som et resultat af samspillet mellem luftstrøm og vingens udformning. Selvom Bernoullis princip ofte bruges som forklaringsmodel i skolen, er det vigtigt at understrege, at opdrift i praksis skyldes en kombination af flere mekanismer:

- Trykforskel omkring vingen
En buet vinge (vingeprofil) ændrer luftens hastighed og retning, så trykket over vingen bliver lavere end under vingen. Det giver en nettokraft opad.
- Luftens afbøjning (Newtons 3. lov)
Vingen afbøjer luftstrømmen nedad. Ifølge Newtons 3. lov påvirker luften vingen med en lige så stor kraft opad.
- Angrebsvinkel
Selv en flad vinge kan skabe opdrift, hvis den hælder svagt i forhold til luftstrømmen. Det er derfor relevant, at eleverne også arbejder med "skrå vinger".

Om forsøget

Forsøget er kvalitativt og egner sig især til at:

- give eleverne en intuitiv forståelse af opdrift
- træne undersøgelseskompetencen gennem systematiske variationer
- introducere modeller (pile, kræfter, skitser) som forklaringsredskab

Målingen af "højde i luftstrømmen" fungerer som et indirekte mål for opdrift, ikke som en præcis fysisk størrelse.

Eleverne arbejder med kontrollerede variationer: Kun vingedesignet ændres, mens luftstrøm, afstand og materialer holdes så ens som muligt.

Fokusér på sproglig præcision: Tal fx om vingeutformning, vingeprofil og angrebsvinkel frem for kun "vingeform".

Brug tegninger med kræfter til at koble det eksperimentelle arbejde til teori og begrebsforståelse.



Udvidelser og variationer

Variation af én parameter ad gangen:

- Samme vingeprofil, men forskelligt vingearreal
- Samme vinge, men forskellig angrebsvinkel
- Samme vinge, men forskellig luftstyrke (lav/mellem/høj)

Alternativ dataopsamling

- Tid vingen kan "svæve" i luftstrømmen
- Sammenlignende rangordning (mest → mindst opdrift)
- Videoptagelse i slowmotion til efterfølgende analyse

Faglig udvidelse

- Koble forsøget direkte til Newtons 2. og 3. lov (kraft og modkraft).
- Introducér begrebet stall ved for stor angrebsvinkel.
- Sammenlign opdrift med luftmodstand – hvornår hjælper modstand, og hvornår hæmmer den bevægelse?

3. "STALL" – NÅR OPDRIFTEN FORSVINDER

Dette forsøg undersøger fænomenet stall, som opstår, når en vinge får en for stor angrebsvinkel i forhold til luftstrømmen. Ved små og moderate vinkler skaber vingen opdrift, fordi luftstrømmen følger vingens overflade og afbøjes nedad. Herved opstår både en trykforskel og en kraftreaktion, der løfter vingen.

Når angrebsvinklen øges ud over et kritisk punkt (stall-punktet), kan luftstrømmen ikke længere følge vingens overside. Strømningen bliver turbulent og slipper vingen, hvilket medfører:

- et markant fald i opdrift
- en kraftig stigning i luftmodstand

Forsøget illustrerer, at mere hældning ikke altid giver mere opdrift, og at der findes et optimalt område for vingens angrebsvinkel. Det giver eleverne en vigtig forståelse af sammenhængen mellem bevægelse, kræfter og strømningsforhold. Slowmotion-video kan styrke elevernes evne til at koble synlige fænomener med abstrakte begreber som opdrift og luftmodstand. Grafen over vinkel vs. opdrift fungerer som en enkel model for virkelige løft-kurver, som også anvendes i luftfart.

Typiske elevmisforståelser

- At stall skyldes, at vingen "mister fart" i sig selv
- At opdrift altid vokser, når vinklen øges
- At stall er det samme som frit fald

Disse kan med fordel adresseres ved at sammenholde graf, kraftpile og slowmotion-observationer.



Udvidelser og variationer

- Sammenlign stall-punktet for en flad vinge vs. en buet vinge og et lille vingearreal vs. et stort vingearreal
- Undersøg om stall indtræffer ved samme vinkel for alle vinger.
- Gentag forsøget ved forskellig luftstyrke.
- Diskutér, om stall-vinklen ændrer sig, eller om det primært er opdriften før stall, der påvirkes.
- Find på alternative metoder til eller kategorier i dataopsamlingen.

4. BUNGY JUMP – ET OBJEKT UDEN OPDRIFT

Dette forsøg viser eleverne, hvad der sker, når et objekt falder uden opdrift, og hvordan faldet stoppes af en modkraft, der gradvist opbygges i en elastisk snor. Eleverne observerer her samspillet mellem tyngdekraft, elastisk kraft og bevægelse, og får erfaring med, hvordan kræfter ændrer sig over tid.

Objektet falder frit i begyndelsen, fordi tyngdekraften er den eneste kraft, der virker. Efterhånden som elastikken strækkes, øges modkraften opad – typisk lineært for små stræk (Hookes lov), men i dette forsøg arbejder vi kvalitativt. Faldet stopper, når modkraften fra elastikken bliver lige så stor som tyngdekraften, og objektet når det laveste punkt. Dette er en god anledning til at introducere idéen om kraftbalance i en dynamisk situation.

Forsøget adskiller sig fra vingeforsøgene ved, at der ingen opdrift er: luften bærer ikke objektet, og det er derfor alene elastikkens modkraft, der stopper faldet. Eleverne får dermed en klar kontrast mellem opdrift og modkraft fra materiale, hvilket styrker forståelsen af, hvad der faktisk "holder ting oppe".

Typiske elevmisforståelser

- At objektet stopper, fordi "elastikken holder godt fast" i stedet for pga. modkraftens størrelse
- At tyngdekraften forsvinder i bundpunktet (det gør den ikke – den udlignes)
- At opdrift og modkraft fra elastik er det samme
- At faldhastigheden er konstant (den øges først – derefter aftager den, når elastikken bremser)

Udvidelser og variationer

- Brug elastikker med forskellig tykkelse eller længde
- Brug forskellige objekter med forskellig masse
- Mål tid til bundpunktet som funktion af elastiklængden

5. ASTRONAUT I KREDSLØB, FRIT FALD UDEN AT RAMME JORDEN

Dette forsøg bruger en enkel, kropslig model (bold og snor) til at arbejde med centripetalkraft, kredsløbsbevægelse og vægtløshed. Ved bevidst at anvende to forskellige modeller – sving i vandret plan og i lodret plan – får eleverne mulighed for at sammenligne, hvad modeller kan forklare, og hvor de kommer til kort. Aktiviteten er velegnet til at koble klassisk mekanik (kræfter og bevægelse) til rumfart samt til at udfordre forestillingen om, at vægtløshed betyder "ingen tyngdekraft". Der arbejdes eksplicit med model vs. virkelighed.



Forsøget giver eleverne en modelbaseret forståelse af, hvorfor astronauter oplever vægtløshed, selvom tyngdekraften stadig virker på dem. Bolden, der svinges rundt i en cirkel, fungerer som analogi til et kredsløb:

- Snoren skaber en centripetalkraft, der trækker bolden ind mod centrum.
- Boldens fart på tværs gør, at den hele tiden "mangler" Jorden og fortsætter rundt.

I et rigtigt kredsløb udføres centripetalkraften af tyngdekraften. Astronauter og satellitter bevæger sig sidelæns så hurtigt, at de falder mod Jorden, men Jorden krummer væk under dem. Derfor rammer de aldrig overfladen, så længe hastigheden er passende.

Vægtløshed skyldes altså ikke fraværet af tyngdekraft, men at astronauter og rumstationen falder. De presses ikke op mod noget underlag, og derfor føles det som om tyngden er væk.

Modellen med bold og snor illustrerer kredsløb som vedvarende frit fald – en central idé i fysikundervisningen. Eleverne får mulighed for at skelne mellem "ingen tyngdekraft" (forkert forklaring) og "ingen støtteflade følelse af vægtløshed" (korrekt forklaring).

Model 1 – Vandret plan

Snoren er den eneste kraft, der holder bolden på cirkelbanen. Bevægelsen er overskuelig og egner sig godt til at forstå cirkelbevægelsen, betydningen af fart, og hvad der sker, når centripetalkraften fjernes.

Modellen minder om kredsløb ved at have en konstant afstand til centrum samt bevægelse på tværs af kraftens retning. Den mangler dog tyngdekraft og kan derfor ikke forklare vægtløshed.

Model 2 – Lodret plan

I den lodrette model virker tyngdekraften hele tiden nedad. Bolden er i praksis i konstant frit fald, men "misser" centrum, fordi den har fremadrettet fart. Tyngdekraften bidrager nogle steder til centripetalkraften (øverst) og andre steder modarbejder den (nederst).

Denne model minder om rigtige kredsløb, fordi tyngdekraften spiller en aktiv rolle, og boldens bevægelse afhænger tydeligt af fart. Lav fart får kredsløbet til at kollapse.

De to modeller bør ikke ses som "rigtig" og "forkert", men som forskellige forklaringsværktøjer med forskellige styrker. Sammenligningen mellem modellerne er central didaktisk, da eleverne får et læringsudbytte ved at diskutere, hvad modellen viser, og hvad den ikke kan vise.

6. LUFTMODSTAND OG FART UNDER FRIT FALD

I dette forsøg undersøger eleverne, hvordan luftmodstand og tyngdekraft påvirker et objekts fart under frit fald. Forsøget egner sig særligt til at introducere ideen om sluthastighed / terminalhastighed, hvor de to kræfter er i balance, så objektet ikke længere accelererer, men falder med konstant fart.

En faldskærm fungerer ved at øge arealet, så luften møder et stort modstandsområde. Når faldskærmen slippes, er tyngdekraften størst, og objektet accelererer nedad. Efterhånden som farten øges, vokser luftmodstanden, indtil luftmodstanden er lig tyngdekraften.



Forsøget giver eleverne en konkret måde at arbejde med kontrollerede variationer (areal varierer, vægt og snorlængde holdes konstant). Eleverne genererer data graf konklusion, hvilket understøtter undersøgelseskompetencen. Tegning af kraftpile over tid gør det muligt at forbinde observationer med begrebet kraftbalance.

- Tyngdekraft: konstant tilnærmelse i dette forsøg
- Luftmodstand: stiger med fart $\rightarrow F_L \propto v^2$ (forenklet: Når farten fordobles, bliver luftmodstanden cirka fire gange så stor.)
- Terminalhastighed: $F_{\text{tyngde}} = F_{\text{luftmodstand}}$

Faldskærme udnytter luftmodstand og tyngdekraft følgende måde: Stor luftmodstand \rightarrow lav sluthastighed \rightarrow blød landing.

Ved en regressionsanalyse af data fra faldskærmsforsøget vil man typisk finde en positiv, men ikke-lineær sammenhæng mellem faldskærmsareal og faldtid. Den bedst passende model er normalt en potensfunktion med eksponent omkring 0,5 (en kvadratrodsammenhæng). Det betyder, at faldtiden stiger, når arealet øges, men at stigningen sker med aftagende hastighed – store faldskærme giver længere faldtid, men forskellen bliver gradvist mindre.

Udvidelser og variationer

- Brug andre former: cirkel, trekant, sekskant – diskutér areal vs. form
- Lav flere arealer med samme omkreds \rightarrow hvad betyder form i forhold til luftmodstand?
- Brug forskellige belastninger med samme faldskærm \rightarrow ændrer balancepunktet, men ikke relationen areal \rightarrow faldtid
- Sammenlign plastikpose, kaffefilter, stof, bagepapir \rightarrow tekstur og permeabilitet påvirker luftstrøm og modstand
- Undersøg, om faldskærmen når sluthastighed før den rammer gulvet ved forskellige højder \rightarrow indikation af, at større faldskærme når balance hurtigere
- Brug slowmotion-video for at se faldskærmens stabilisering.

7. OPDRIFT VS. TYNGDEKRAFT

I dette forsøg undersøger eleverne opdrift som modkraft til tyngdekraft, og hvornår en ballon bliver i stand til at svæve eller løfte en last. Formålet er at gøre begrebet opdrift konkret ved at arbejde med balance mellem kræfterne i stedet for kun at tale om, at "helium stiger til vejrs".

Opdrift opstår, fordi en ballon fortrænger en vis mængde luft. Når luften, der fortrænges, vejer mere end ballonen plus dens indhold, vil den samlede opdrift være større end tyngdekraften, og ballonen vil svæve eller stige.

Den afgørende fysik er Arkimedes' lov:

$$F_{\text{opdrift}} = \rho_{\text{luft}} \cdot g \cdot V$$

I udskolingen behøver eleverne ikke sætte tal på, men det er værd at understrege, at:

- større volumen \rightarrow større opdrift
- tungere gas \rightarrow mindre opdrift (helium vejer mindre end luft)
- mere vægt \rightarrow større tyngdekraft



Nøgleidé for eleverne:

- Ballonen svæver, når opdriften og tyngdekraften er lige store.
- Hvis én er større end den anden, bevæger ballonen sig op eller ned.

Typiske elevmisforståelser (opmærksomhedspunkter)

- Helium “stiger opad” af sig selv.
→ Nej: Heliumballonen bevæger sig op, fordi luften skubber den op (opdrift).
- Større ballon = lettere vægt.
→ Større ballon vejer ofte mere i materiale, men giver større volumen, som typisk øger opdriften endnu mere.
- Hvis en ballon stiger, er der ingen tyngdekraft på den.
→ Der virker stadig tyngdekraft – den er bare mindre end opdriften.

Udvidelser og variationer

- Afprøv andre gasser
- Beregn en tilnærmet løftekraft pr. liter helium (ca. 1 gram pr. liter). Estimér ballonens volumen ud fra diameter og brug det til at forudsige løfteevne.
- Diskutér forskellen mellem fly (opdrift fra vinger) og balloner (opdrift fra gas), og tegn modeller, der illustrerer forskellen.





 **Danmarks**
Naturfagslærerforening