

Det eksperimentelle arbejde i fysik

Indledning	h.30j0zll
Fagets identitet og metoder – eksperimentets rolle	h.1fob9te
Eksperimenter, som understøtter elevernes viden om fysiks identitet og metoder	h.3znysh7
Hvordan naturvidenskab fungerer - ("How Science Works")	h.tyicwt
Autentiske undersøgelser.	h.3dy6vkm
Kvalitative eksperimenter	h.4d34og8
Åbne problemstillinger	h.26in1rg
Forslag til åbne problemstillinger	h.2jxsxqh
Forslag til længere forløb i 1.g med åbne problemstillinger	h.z337ya
Eksamen	h.3j2qgm3
Om at tilrettelægge eksperimenter	h.4i7oijp
Fem trin	h.2xcytpi
Eksempler	h.1ci93xb
Progression	h.3whwml4
Bilag: Flere eksempler	h.qsh70q
Længerevarende eksperimentelle undersøgelser	h.3as4poj
Undervisningens tilrettelæggelse	h.1pxezwc
Eksempler	h.147n2zr

Indledning

Dette er en rapport udarbejdet for Undervisningsministeriet af en arbejdsgruppe bestående af Danni Pedersen, Odense Katedralskole, Dorthe Agerkvist, Herlev Gymnasium og HF og Tina Bové Riisgaard, Silkeborg Gymnasium. Fagkonsulent Martin Schmidt har været tilknyttet arbejdsgruppen. Rapporten er afleveret i august 2014.

Kommissoriet for arbejdsgruppen har været med fokus på det eksperimentelle arbejde at analysere fysikfagets mål, kernestof og arbejdsformer med henblik på at give anbefalinger til, hvordan der kan skabes progression og bedre støtte til elevernes faglige udvikling.

Afsnittet "Fagets identitet og metoder – eksperimentets rolle" omhandler alle niveauer i fysik og afsnittet "Åbne problemstillinger" drejer sig om A-niveauet, mens afsnittene "Om at tilrettelægge eksperimenter" og "Længerevarende eksperimentelle undersøgelser" omhandler både B- og A-niveau.

Fagets identitet og metoder – eksperimentets rolle

Eksperimenter, som understøtter elevernes viden om fysiks identitet og metoder

Den eksperimentelle dimension udgør en central side af fysikfagets identitet og metode og er højt prioriteret i læreplanerne. Udover at bidrage til opfyldelse af faglige mål for elevernes eksperimentelle kompetencer skal de eksperimenter, som eleverne gennemfører, derfor bidrage til at give eleverne et realistisk billede af fysikfagets identitet og metode – se senere: "How Science Works". Ikke mindst læreplanernes mål om tilrettelæggelse af eksperimenter (B-niveau) og undersøgelse af åbne eksperimentelle problemstillinger (A-niveau) giver mulighed for, at elevernes eksperimentelle arbejde understøtter deres forståelse af eksperimentets rolle i fysik.

At tilrettelægge eksperimenter samt håndtering af åbne problemstillinger

Her gives nogle eksempler på eksperimentelt arbejde, som understøtter elevernes forståelse af eksperimentets rolle i fysikfagets identitet og metode.

Eksperiment til undersøgelse af en spiralfjeder, elastik eller andet, som kan svinge.

Eksempel 1

Tilrettelæggelse af et eksperiment

Undersøgelse af en fjeder og en elastik.

Tilrettelæg og udfør et eksperiment til undersøgelse af en fjeder.

- Undersøg sammenhængen mellem kraften på fjederen F og fjederens strækning fra hvilepositionen Δs . Brug tyngdekraften: $F_g = m \cdot g$.
- Ophæng en genstand i fjederen, og sæt den i lodrette svingninger. Undersøg sammenhængen mellem svingningstiden T og massen m af genstanden.

Pædagogisk problemstilling/læringsmål:

- Selvstændig tilrettelæggelse af eksperimentel undersøgelse.
- Undersøgelse med variabelkontrol.

Frihedsgrader til tilrettelæggelse:

Eleverne skal selv:

- vælge massen og dermed F samt måden at måle Δs .
- selv vælge en måde at måle T .
- vælge et passende antal datasæt.

Eleverne måler først på en almindelig fjeder, dernæst elastik. De forventes at opdage, at elastikken i modsætning til fjederen ikke opfylder en lineær sammenhæng, især når den strækkes meget.

Eksempel 2

Åben problemstilling:

Undersøg, om en vandret lineal fastspændt til et bord opfører sig på samme måde som en almindelig fjeder ved nedbøjning, og når den svinger.

Dette kan simpelt udvides med undersøgelse af fjederkonstantens afhængighed af linealens længde, når den nedbøjes eller svinger. Dette kan fx bruges ved længere projekter.

Teori:

Hvis der er en lineær sammenhæng mellem kraften F og strækningen Δs : $F = k \cdot \Delta s$, kan man vise

at svingningstiden er
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Her er m den svingende masse.

Bemærk at bidraget til m fra fjederens egen masse ikke nævnes. Det overlades til eleverne at overveje og eventuelt inkludere dette forhold i eksperimentet. Man får gode resultater, hvis 1/3 af fjederens masse lægges til loddets masse.

Man kan overveje slet ikke at give noget teori. Det er ikke så afgørende i dette kendte eksperiment, da eleverne alligevel hurtigt selv finder formlerne i bøger eller på internettet.

For andre svingende systemer kan det være en pointe, at teorien er ukendt for eleverne.

Måleudstyr, som eleverne her kan/skal stifte bekendtskab med:

Ultralyd-afstandsmåler til måling af afstanden.

Perioden for en harmonisk svingning kan fås med sinusregression på målinger med ultralyd-afstandsmåleren.

Mulige relevante pointer man kan få hjem via dette og lignende eksperimenter:

- Hookes lov er ikke en lov, men mere en materialeegenskab
- Lineær sammenhæng mellem to fysiske størrelser ses ofte, men er også ofte en tilnærmelse, som kan passe godt eller dårligt. Andre eksempler:
 - o ΔT og ΔE for et stof, fx vand
 - o Tryk og højde i en gas, fx atmosfæren
 - o Ohms lov, som heller ikke er en fysisk lov.
- Eksemplerne illustrerer, at praktisk talt enhver fysisk lov eller sammenhæng har en begrænsning i sin gyldighed.

Man kan direkte mærke med fingrene, at et gummibånd ikke er Hooke'sk.

- Påstand om skumgummipuder: En sådan skal designes/vælges med passende fjederkonstant, sådan at den opfører sig Hooke'sk i det relevante anvendelsesområde.

Hvordan naturvidenskab fungerer - ("How Science Works")

Som en model for identitet og metoder i naturvidenskab anvendes "Understanding Science – How Science Works" fra University of California, Berkeley.

Se en *interaktiv* version her: <http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>.

"How Science Works" er en samlet model for de naturvidenskabelige fags metoder, som er så simpel, at den kan bruges i gymnasiet i arbejdet med de naturvidenskabelige fags identitet og metoder. Se Berkeley-modellens hjemmeside her: <http://undsci.berkeley.edu/index.php>. Nedenfor ses forslag til dansk oversættelse af dele af modellen samt nogle kommentarer

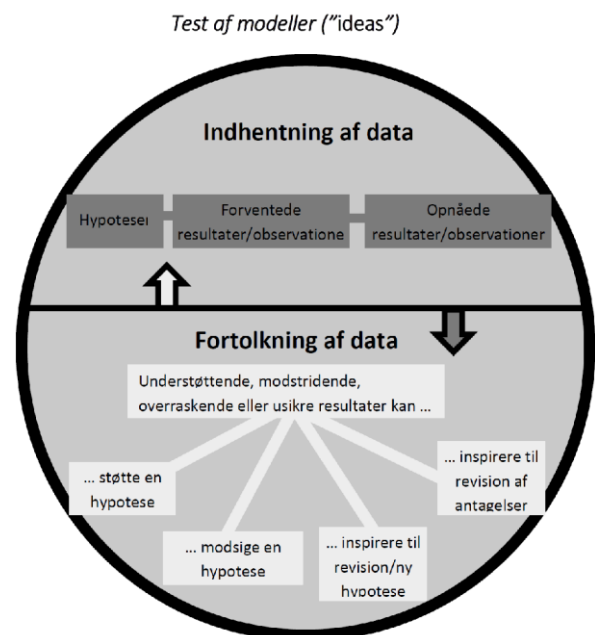
Cirklen "Udforskning og undersøgelser":

At stille spørgsmål, hvad kendetegner naturvidenskabelige spørgsmål, og hvilke svar har et eksperiment mulighed for at give?

At gennemføre observationer (og eksperimenter), hvordan skaffer man sig data, herunder anvendelse af måleudstyr og værdien af variabelkontrol.

At dele data og ideer, hvilken betydning har det for det eksperimentelle arbejde, at man udveksler resultater i det åbne videnskabelige samfund? Man kan diskutere modsætningen, fx hemmeligholdelse og patentsystemet i forbindelse med forskning i store virksomheder samt rettet mod militær anvendelse.

Den centrale cirkel *Testing Ideas* er forsøgt oversat her til højre. Her vises fint de centrale elementer i mange fysiske eksperimenter: Opstilling af en hypotese, forventning til resultaterne samt måling og efterbehandling.



Resultaterne kan støtte¹ hypotesen eller være i modstrid med hypotesen, man siger også at modellen er *falsificeret*.

Afvikling af *Predict-Observe-Explain* (POE) forløb kan ofte føre til at eleverne må revidere deres hypotese eller grundlæggende antagelse i forbindelse med det gennemførte eksperiment.

Pile, påvirkninger:

Fremkomsten af *ny teknologi*, herunder måleudstyr, spiller en stor rolle for udviklingen af det eksperimentelle arbejde i fysik – også på gymnasialt niveau. *Praktiske vanskeligheder* kan umuliggøre eksperimentelle undersøgelser, både for eksperimentalfysikeren og for gymnasieeleven. Den intelligente udnyttelse af et *lykketræf* har historisk haft stor betydning i fysik, tænk bare på Røntgen og Penzias & Wilson. I gymnasiet kan den overraskende observation måske anvendes til at illustrere denne tilgang til at opnå ny viden i fysik.

De andre cirkler i Berkeley-modellen er ikke så centrale for det eksperimentelle arbejde, og de omtales ikke nærmere her.

Nedenfor følger nogle eksempler på eksperimenter, som giver mulighed for at inddrage nogle aspekter af Berkeley-modellen.

Autentiske undersøgelser.

Hvor meget flydende vand er der i tøsne?

Problemformulering:

Gennemfør et kalorimeter-eksperiment, som kan afgøre, hvor meget vand tøsneen indeholder.

Man har tøsne med massen $m_{tøsne}$, hvoraf $m_{vand\ i\ sne}$ er det flydende vand i tøsneen. Resten regnes for at være is.

$$-\Delta E_{vand\ i\ bæger} = -m_{vand\ i\ bæger} \cdot c_{vand} \cdot \Delta T = c_{vand} \cdot m_{tøsne} \cdot T_{slut} + (m_{tøsne} - m_{vand\ i\ sne}) \cdot L$$

Hvilket blandingsforhold?

Lav et par blandinger af vand og glycerol og bestem varmekapaciteten af disse blandinger.

Brug resultaterne til at konstruere en matematisk sammenhæng mellem blandings varmekapacitet og masse-andelen af vand.

Bestem varmekapaciteten af den udleverede vand-glycerol blanding, og giv et bud på andelen af vand.

¹ Man bør ikke anvende begrebet at *verificere* her. Fx Karl Popper anvender begrebet "corroborated", som også kan oversættes med "befæstet". Se evt. <https://tidsskrift.dk/index.php/mona/article/viewFile/69275/126862>.

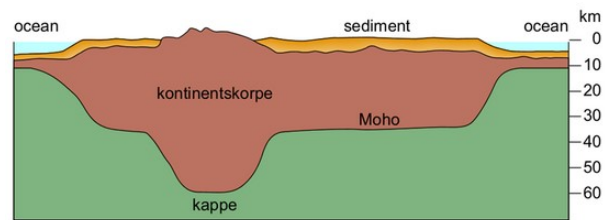
Eksperimentet bygger på en lineær sammenhæng mellem varmekapaciteten af blandingen og blandingsforholdet.

Hvordan er bjerge dannet?

Bestem densiteten af to klippestykker, fx olivin² og granit.

En stor klump granit, fx Mt. Everest, flyder ovenpå

Olivin er hovedbestanddelen i kappen med densitet ca. 3300 kg/m³, mens skorpen har densitet ca. 2800 kg/m³. Hvis Grønlands indlandsis smelter helt væk, hvilket skete for ca. 2,5 mill. år siden, vil Grønlands undergrunde hæve sig 400 m – 500 m.



delvist smeltet olivin.

Vurder, hvor langt op granitklumpen stikker.

Udspring eller andet fra legepladsen

Hvor hurtigt bevæger en udspringer sig lige inden vandet rammes?

Tag i svømmehallen og lav en videoanalyse.

Noget lignende kan også foregå fx på legepladsen, trampolinen eller i tivoli.

Uran malm

Klippestykker med mineraler af uran undersøges.

- Hvilke former for stråling udsender klippestykket?
- Observation i tågekammer
- Undersøg afstandskvadratloven og absorptionsloven for klippestykket

Vores energiforbrug

Her er der mange muligheder fx

- Vores elforbrug til belysning, i køkkenet, hvidevarer
- Opvarmning – af villaen, skolen, ...
- Transport

Eksperimentelt kan eleverne måle hastigheden for biler og andre transportmidler. Man kan også lave en eksperimentel undersøgelse af luftmodstanden.

Kvalitative eksperimenter

Nedenfor ses en række eksempler, hvor eleverne kan øve sig i at opstille simple hypoteser.

² Kan fx købes her:

http://www.stenbutikken.dk/system/applications/advanced_search_result.php?search_in_description=1&keywords=olivin&page=2.

² Samme sted kan man for 125 kr. købe uranmalm med god aktivitet.

a. Gitter-briller

Eleverne forsynes med papbriller med optisk gitter, hvorefter eleverne observerer diverse lyskilder, herunder lysstofrør og glødepærer.

Optik-kasse fra Sol-Data har flere eksempler på kvalitative eksperimenter med lys.

b. Interferens med lyd

Et POE-forløb.

To ens højttalere fastgøres i afstanden 1 – 2 m på et bræt. De tilsluttes samme tonegenerator, således at de svinger i fase.

Eleverne skal forudsige, hvordan lyden udbreder sig fra de to højttalere.

Ved at dreje bræt med højttalere hører eleverne destruktiv og konstruktiv interferens. Man kan også lade højttalerne stå fast og få eleverne til at bevæge sig.

c. Fingeren i vandet

Dette er et klassisk eksempel på et POE-forløb.

Et bægerglas med vand sættes på en vægt, som evt. nulstilles.

Klassen spørges, hvad der sker med vægtens visning, når en elev putter en finger ned i vandet.

Viser den mere – det samme – mindre?

Kan anvendes sammen med Socratic eller lignende.

Andre, mere komplicerede, varianter findes – fx den ligeledes kendte ”hæld ankeret overbord, hvad sker der med bådens dybgang?”.

d. Koge vand i cola-dåse

Lidt vand i en dåse bringes til at koge – på bunsenbrænder eller kogeplade.

Dåsen stikkes med bunden i vejret ned i et glaskar med vand.

Dåsen krølles sammen.

Forklar fænomenet, evt. forudse, hvad der vil ske (det sidste ødelægger lidt overraskelsen for de elever, som ikke har set det før).

e. Observér Solen med Solarscope eller paprør

Se solskiven flytte sig på et Solarscope. Se solpletter.

Det sidste er svært, hvis man kun har et paprør.

Man kan også bruge en almindelig kikkert, det er lidt mere besværligt, og man skal være 100 pct. sikker på, at eleverne ikke får øjenskader ved at se direkte på Solen gennem kikkerten.

Åbne problemstillinger

Et af de faglige mål i læreplanen for fysik A er, at eleverne skal kunne håndtere åbne eksperimentelle problemstillinger (se citat nedenfor). Da eleverne til eksamen bedømmes på, i hvor høj grad deres præstation lever op til de faglige mål, skal elevernes altså bedømmes på, hvordan de håndterer en åben problemstilling. Derudover skal de kunne diskutere matematiske sammenhænge for disse målinger. Følgende er et citat fra læreplanen taget fra afsnittet om de faglige mål:

Eleverne skal:

- *kunne tilrettelægge, beskrive og udføre fysiske eksperimenter til undersøgelse af en åben problemstilling*
- *kunne behandle eksperimentelle data med henblik på at diskutere matematiske sammenhænge mellem fysiske størrelser*

Det er mange overvejelser knyttet til dette, fx hvad der kendetegner en åben problemstilling, og hvordan man lærer eleverne at arbejde med åbne problemstillinger.

Hvad er en åben problemstilling?

Problemstillinger kan være åbne på forskellige måder. I afsnittet om tilrettelæggelse er angivet 5 forskellige trin i at tilrettelægge et eksperiment. Alle trin kan i princippet være åbne, enten enkeltvis eller flere ad gangen. I en åben problemstilling vil der typisk være forskellige valg for eleverne. Der skal altså være noget, som de selv kan tage stilling til. Der vil også typisk være flere forskellige veje igennem eksperimentet og dermed muligheder at vælge imellem.

Også her må der skelnes mellem åbne problemstillinger i den daglige undervisning og åbne problemstillinger til eksamen. Til eksamen skal man være forsigtig med at åbne forsøgene for meget, man skal jo være sikker på, at alle elever på holdet har mulighed for at besvare opgaven. Det er helt naturligt, at der på denne måde, er forskel på hverdag og eksamen. Forsøg i undervisningen kan være åbne både for eleverne og læreren, men dette tilrådes ikke til eksamen.

Progression i arbejdet med åbne problemstillinger

Hvis eleverne skal kunne arbejde med åbne problemstillinger, kræver det, at det bliver trænet undervejs i forløbet. Det skal også trænes flere gange. Man kan ikke starte med at lave alle trin i tilrettelæggelsen åbne. Det vil ofte være en god ide at starte med et trin ad gangen.

Fx kan man starte i 1.g (evt. nv) med at bestemme densiteter som en åben problemstilling i stil med 'Bestem massefylden af de udleverede metalklodser eller den udleverede væske'. Derefter skal eleverne give et bud på stoffet/stofferne. Dette er et meget simpelt eksperiment, hvor det er forholdsvis let at overskue målingerne. Derefter har man en oplagt mulighed for at tale om usikkerhed og sammenligne elevernes målinger.

En anden måde at lave progression på kan være først at fokusere på at lære metoder i gængse eksperimenter, derefter kan man bruge dem på et åbent spørgsmål. Et eksempel kan være, at eleverne kan starte med at lave en videoanalyse fx af et frit fald. Derefter kan man bruge metoden på mange andre eksperimenter i mekanik.

Det er vigtigt, at man undervejs i processen diskuterer elevernes valg - ikke mindst af metode. Ikke alle metoder er lige gode, så eleverne skal trænes i at vælge den rigtige metode i en given situation. Dette kan fx gøres ved at diskutere det enten i klassen eller grupper imellem. Det er også nødvendigt at introducere begreberne variabelkontrol og reproducerbarhed, for at eleverne kan lære at udføre selvstændigt eksperimentelt arbejde.

Mens man arbejder med de åbne problemstillinger, har man mulighed for at snakke om metoder generelt i fysik, jf. læreplanen i fysik A, hvor der står, at '*eleverne skal demonstrere viden om fagets identitet og metoder*'.

En anden måde at inddrage åbne problemstillinger på er at gøre den daglige undervisning mere åben og ikke 'bare' præsentere eleverne for den færdige teori hver gang. Man kan fx her bruge 5E-modellen for planlægning af undervisningen. Modellen kan bruges i både længere forløb og enkelte sekvenser. Den er beskrevet i <http://faculty.mwsu.edu/west/maryann.coe/coe/inquire/inquiry.htm> Ganske kort beskrevet er der 5 trin i planlægningen: *Engagement, Exploration, Explanation, Elaboration and Evaluation*.

Man kan også gøre undervisningen mere induktiv og fx starte med at lave eksperimenter og først bagefter diskutere modellerne. På den måde bliver eleverne trænet i selv at vælge en matematisk model, der (forhåbentlig) giver en god beskrivelse af målingerne. Et eksempel kunne være at lade dem selv undersøge, hvilke parametre svingningstiden for et pendul afhænger af. Man kunne starte med et matematisk pendul og senere udvide til et fysisk pendul.

Man kan fx lade eleverne undersøge absorption af gammastråling i bly og først bagefter snakke om den matematiske model.

Et tredje eksempel kunne være, at eleverne selv skal finde en måde til at bestemme middelhastigheden ud fra afstandsmålinger, og derefter skal de selv finde en metode til at bestemme øjeblikshastigheder. Først bagefter sætter man det ind i en teoretisk, matematisk ramme.

Matematiske sammenhænge

Eleverne skal trænes i at diskutere matematiske sammenhænge, og derfor skal de undervejs i forløbet præsenteres for eksperimenter, hvor de ikke kender den matematiske sammenhæng på forhånd. Det er nødvendigt at diskutere sammenhængen mellem antallet af målepunkter og sikkerheden i bestemmelsen af sammenhængen. Det er fx ikke nok, at regressionen giver en R^2 tæt på 1 til at fastslå, hvilken sammenhæng der er.

Ofte vil eleverne ikke måle særlig mange punkter til at lave en regression efter, første gang de selv skal planlægge at undersøge en sammenhæng. Der vil det være fornuftigt at diskutere antallet af målepunkter, der er nødvendige for at se, hvilken sammenhæng der er tale om. En anden ting, der også skal diskuteres med eleverne, er at sortere målepunkter fra. Der kan jo være tale om direkte fejlmålinger eller målinger i starten eller slutningen, som eleverne skal lære, at det er i orden at se bort fra. Det kan ikke forventes, at eleverne selv fra starten kan overskue dette. Det er noget, der skal tydeliggøres for eleverne.

Det er en god ide at præsentere eleverne for sammenhænge, der har et vist gyldighedsområde. Her kan man med fordel inddrage eksempler fra den virkelige verden, hvor eleverne ofte lettere vil kunne se begrænsningen. De nedenstående eksempler med træningselastikker og skumgummi er eksempler på eksperimenter, hvor eleverne selv kan indse, at der er et gyldighedsområde.

Længere forløb

Undervejs kan man planlægge nogle forløb med fokus på at undersøge åbne problemstillinger. Man kan fx arbejde med en åben problemstilling til en grupperapport/fremlæggelse i 1.g, se nedenfor. Her kan eleverne støtte hinanden i arbejdet, hvilket letter deres arbejde med åbne problemstillinger. Der kan derfor være flere åbne parametre.

Man kan lave forløb, hvor alle eleverne på holdet arbejder med samme problemstilling. Det gør det nemt at diskutere resultatet bagefter, og man kan typisk se, at eleverne vælger forskellige veje gennem arbejdet. Omvendt kan det have den ulempe, at eleverne bliver for inspirerede af hinanden og ikke når selv at reflektere over problemet. En anden mulighed er, at eleverne kan arbejde med forskellige problemstillinger. Det vil ofte tage mere tid og derfor være oplagt til et længere forløb. Her kommer alle eleverne til gengæld på banen, og det er sværere at 'gemme sig'.

Eleverne kan enten selv vælge deres problemstilling, eller læreren kan bestemme. Typisk vil eleverne have mere ejerskab til de forløb, hvor de selv har valgt problemstillingen. På et tidspunkt i undervisningen vil det være naturligt, at eleverne skal lave noget forskelligt. Mindst et af de længerevarende eksperimentelle forløb kan oplagt være med en åben problemstilling for A-niveau. Her vil det være naturligt at lade dem selv vælge, evt. inden for en ramme, se afsnittet om længerevarende eksperimentelle forløb.

Forslag til åbne problemstillinger

I dette afsnit er samlet forskellige forslag til eksperimentelt arbejde med åbne problemstillinger. Eksemplerne kan bruges til kortere eller længere forløb, og man kan variere åbenheden af dem, jf. afsnittet om tilrettelæggelse.

Der er givet forslag til efterbehandling af undersøgelserne for at illustrere forskellige muligheder. Man bør naturligvis vælge netop den form, som er bedst i forhold til den enkelte klasse og undervisningssituation.

1. Opdrift og last af et skib

Eleverne får problemstillingen: Undersøg sammenhængen mellem, hvor meget et skib laster, og hvor dybt det stikker i vandet. De skal så selv finde ud af, hvordan de vil måle dette. De behøver ikke kende til opdrift i forvejen. For at have 'et skib', der er let at måle på, kan man fx bruge de små rektangulære plastikkasser med lodrette sider, som man køber slik i kantiner o. lign.

Her er der også oplagt mulighed for at diskutere gyldighedsområde for den matematiske sammenhæng.

Forløbet kunne afsluttes med en rapport med fokus på databehandlingen.

2. Afskærmning af radioaktiv stråling

Eleverne får udleveret en radioaktiv kilde, hvor de skal undersøge, hvordan man skal afskærme, så man kun får 1/10 af strålingen igennem. De kan få et udvalg af materialer eller et bestemt materiale udleveret.

Alternativt kan de få opgaven at undersøge tykkelsen af en aluminiumsdåse ved hjælp af absorption af radioaktiv stråling fra en given kilde.

Resultaterne kan præsenteres ved en postersession, hvor eleverne fremlægger deres resultater.

3. Afsætshastigheden ved et lodret hop

Eleverne skal bestemme deres afsætshastighed ved et lodret hop med 3 forskellige metoder. Forløbet her kræver, at eleverne har en teoretisk viden om bevægelse og har skiftet bekendtskab med forskellige målemetoder som fx videoanalyse.

De skal aflevere en gruppe rapport, hvor de gør rede for de teoretiske overvejelser bag deres eksperimenter og sammenligner målesikkerheden ved de forskellige metoder.

4. Faldende kugler i væske

Elever skal arbejde med problemstillingen: Undersøg faldende kugler i væske – falder de ligesom i luft? Enten kan man have lavet eksperimenter med frit fald i luft, inden man laver dette eksperiment, eller man kan lave det mere åbent ved, at eleverne selv skal undersøge, hvordan kugler falder i luft uden at have diskuteret det fælles før. Det er oplagt, at eleverne har lært videoanalyse forinden.

Forløbet kunne afsluttes med en lille film, hvor eleverne skal gøre rede for deres fremgangsmåde og overvejelser bag eksperimentet samt præsenterer deres resultat.

5. Hastighed ved frit fald

Eleverne tilrettelægger selv deres forsøg ud fra problemstillingen: Hvor højt oppe fra skal en bold tabes for at få dobbelt hastighed i nedslaget?

Krav til efterbehandling: Forklar, hvordan I har undersøgt problemet. Diskutér styrker og svagheder i undersøgelsen, og sammenlign med forventning.

6. Vandrakter, banekurver og vandets udstødningshastighed

Man kan bruge vandrakter til både længere og kortere forløb. I et kortere forløb fx i 1.g kan man give eleverne problemstillingen: Hvor meget vand skal man fylde i, for at raketten flyver højest ved en lodret affyring? Her har eleverne ikke lært noget teori bag raketten, men skal alene prøve sig frem. Man kan evt. lave en konkurrence mellem grupperne i klassen. Det kan udvides med, at eleverne må lave 'snude' og 'finner' til raketten.

I et længere forløb senere kan man udvide eksperimentet med, at eleverne fx skal undersøge sammenhængen mellem vandmængden og vandets udstødningshastighed. Alternativt kan man lade dem undersøge banekurven eller inkludere nogle teoretiske overvejelser.

7. Billard og impulsbevarelse

Eleverne kan få til opgave at undersøge, om der er impulsbevarelse, når to billardkugler støder sammen. Alternativt kan man undersøge airhockey. Airhockeyborde kan købes for 2000-3000 kr. og lejes for omkring 250 kr. pr dag.

Forløbet kunne afsluttes ved, at eleverne laver en vejledning til eksperimentet, hvor målgruppen er andre elever på samme niveau. Vejledningen skal indeholde formål, fremgangsmåde samt spørgsmål til databehandlingen.

8. Resonans i vinflasker

Eleverne skal undersøge sammenhængen mellem vandmængden i vinflasker og resonansfrekvensen, der fremkommer ved at slå forsigtigt på flasken med en blyant. Bemærk, at det er flaskens vibrationer og ikke luftsøjlenes svingninger, der undersøges. Der er altså ikke tale om en Helmholtzresonator. Den empiriske matematiske sammenhæng, som eleverne når frem til, kan bruges til at stemme flasker til bestemte toner.

Eleverne bør på forhånd have kendskab til relevant måleudstyr. Det kan ske ved fx at måle frekvens af svingninger i rør.

Elevernes resultater kan præsenteres i fremlæggelser, hvor eleverne også spiller på stemte flasker.

Forslag til længere forløb i 1.g med åbne problemstillinger

Dette forløb er tænkt som et længerevarende eksperimentelt forløb i 1.g, hvor eleverne inddeles i grupper og arbejder selv med de eksperimentelle problemstillinger. Det er altså tænkt som en 'pakkelsning'. Placeringen kunne fx være i sidste halvdel af 1.g. Det er ikke meningen, at eleverne har teoretisk kendskab til de forskellige emner. Forløbet skal træne eleverne i selv at opstille hypoteser, lave forundersøgelser, lave variabelkontrol og undersøge matematiske modeller. Alle

forslagene herunder har en lille beskrivelse, som eleverne får udleveret, beskrivelserne er derfor ret ens. Hvis man bruger forløbet senere end 1.g, kan man skære ned på beskrivelsen, så der ikke er så meget hjælp i den.

Forløbet kunne afsluttes med, at eleverne fremlægger deres resultater for hinanden efter følgende beskrivelse: I skal planlægge og udføre eksperimenter til at undersøge dette. Jeres forsøg skal dokumenteres med tegninger, billeder, video etc. I skal fremvise jeres resultater grafisk og finde passende matematiske modeller. Forløbet afsluttes med en gruppefremlæggelse.

Alle eksperimenterne kan naturligvis bruges i andre sammenhænge, se efter beskrivelserne.

1. Krater

Når man taber en kugle i et passende lag sand, vil der dannes et krater i stil med, når en meteor rammer jordoverfladen. I skal studere sådanne kratre i en lille skala og undersøge, hvad kraterets størrelse afhænger af. Jeres spørgsmål er altså

Hvad afhænger kraterets størrelse af?

Man kan forestille sig, at det afhænger af størrelsen af kuglen, højden, massen eller andet. Hvad hvis man brugte en sten? Hvad er et passende lag sand? Er det det samme, hvis man bruger mel i stedet for sand?

2. Penduler

Når man hænger et lod op i en snor, kan man sætte det i svingninger og derefter måle svingningstiden for det. I skal undersøge sådanne penduler. Jeres spørgsmål er

Hvad afhænger pendulets svingningstid af?

Man kan forestille sig, at det afhænger af længden af snoren, udsvingets størrelse, ophængen, massen af loddet, snortypen eller andet.

3. Træningselastikker

Når man trækker i en træningselastik, vil den forlænges. Det samme sker, hvis man hænger et lod i elastikken. I skal undersøge sådanne træningselastikker og sammenhængen mellem forlængelsen og kraften. Jeres spørgsmål er

Hvad afhænger styrken/hårdheden af en træningselastik af?

Man kan forestille sig, at det bl.a. er relevant at undersøge længden, bredden og tykkelsen af elastikken, samt hvilken type det er.

Note om træningselastikker. Der findes mange typer af disse. Her er anvendt de såkaldte 'thera bands', der kan købes i metermål. På nedenstående billede ses den grønne type med en belastning på henholdsvis 5 kg og 10 kg.



4. Skumgummipuder

Når man sætter sig på en skumgummipude, trykkes den sammen. Det samme sker, hvis man placerer et lod på puden. I skal undersøge dette. Jeres spørgsmål er

Hvad afhænger hårdheden af en skumgummipude af?

Man kan forestille sig, at det bl.a. afhænger af typen af skumgummi og af pudens tykkelse og størrelse. Er det det samme for skumgummi-vaskeklude?

5. Papirkegler

Når man slipper en kegle lavet af papir, vil den efter forholdsvis kort tid falde med konstant hastighed, fordi luftmodstanden bliver lige så stor som tyngdekraften på keglen. I skal undersøge dette fald og finde ud af, hvad luftmodstanden afhænger af. Jeres spørgsmål er

Hvad afhænger landingsfarten af?

Man kan forestille sig, at det afhænger af keglens størrelse, masse eller andet. Skal man videofilme faldet for at finde sluthastigheden, eller kan man bare måle tid og faldhøjde?

6. Papirhelikopter

Når man slipper en papirhelikopter, vil den efter forholdsvis kort tid falde med konstant hastighed, fordi luftmodstanden bliver lige så stor som tyngdekraften på helikopteren. I skal undersøge dette fald og finde ud af, hvad luftmodstanden afhænger af. Jeres spørgsmål er

Hvad afhænger landingsfarten af?

Man kan forestille sig, at det afhænger af helikopterens størrelse, masse eller andet. Skal man videofilme faldet for at finde sluthastigheden, eller kan man bare måle tid og faldhøjde?

Man kan fx finde instruktioner i at lave en papirhelikopter her:

<https://www.experimentarium.dk/m/sjovt-nok-klogere/eksperimenter/eksperimentvisning/article/2984/>
<https://www.experimentarium.dk/m/sjovt-nok-klogere/eksperimenter/eksperimentvisning/article/2984/>

7. Afkøling

Når man sætter en varm kop te, kaffe eller lignende på et bord, vil den køle af. I skal undersøge denne afkøling ved at se på, hvordan temperaturforskellen mellem meget varmt vand og omgivelserne udvikler sig. Jeres spørgsmål er

Hvad har indflydelse på, hvor hurtigt teen bliver kold?

Man kan forestille sig, at det er relevant at undersøge forskellige glas/kopper, hvor meget væske der er, og hvad starttemperaturen på væsken og omgivelsernes temperatur betyder. Ændres temperaturforskellen hurtigere i et køleskab?

Som nævnt tidligere kan eksperimenterne også bruges på andre måder, fx kan man lade hele klassen lave det samme eksperiment. Nogle af eksperimenterne kan bruges som introduktion til et forløb, fx kan papirskegler bruges som en introduktion til luftmodstand. Eksperimentet med kratere kan både bruges sammen med mekanisk energi og som en del af et forløb om nedslag/katastrofer på Jorden.

Nogle af eksperimenterne kan også bruges, efter at eleverne har lært teorien, fx kan man efter at have undersøgt Hookes lov for en fjeder undersøge, om loven også gælder for en træningselastik.

Eksamen

Til eksamen i fysik A skal man teste kompetencen i at undersøge åbne problemstillinger. Det betyder ikke, at alle de eksperimentelle opgaver skal have en åben del, men der skal være åbne problemstillinger i en del af opgaverne. Det er derfor vigtigt, at man har præsenteret eleverne for eksempler på eksamensopgaver med en åben del og diskuteret, hvad der forventes af dem.

Når man undervejs i undervisningsforløbet planlægger det eksperimentelle arbejde, er det også vigtigt, at man overvejer, hvordan man kan tilpasse de udførte eksperimenter til åbne problemstillinger til eksamen.

Ikke alle eksperimenter, der er gennemført i undervisningen, vil måske egne sig til åbne problemstillinger, som eleverne vil kunne besvare inden for eksamenstiden, så der kan være områder, der ikke er dækket af åbne problemstillinger til eksamen.

Eksempler på åbne eksperimentelle eksamensopgaver til fysik A

Radioaktivitet

En teori siger, at halveringstykkelser er større, jo større densiteten for et materiale er. Undersøg denne påstand for gammastråling vha. de udleverede materialer (bly, aluminium, flamingo, sand og vand).

Radioaktivitet

I skal undersøge radioaktiviteten fra en grønlandsk klippe. Herunder skal I undersøge, om afstandskvadratloven gælder.

Varmelære

Bestem nogle fysiske størrelser for de udleverede stoffer, og giv et bud på, hvilke stoffer der kan være tale om.

(De får udleveret to faste stoffer, fx et metal og noget palmin (kokosfedt), og en væske fx glycerol).

Magnetfelter

I skal undersøge magnetfeltet fra en flad spole samt hvilke parametre, det afhænger af. I skal desuden undersøge, hvorledes magnetfeltet aftager med afstanden til centrum af spolen.

Bevægelse

Tilrettelæg, gennemfør og lav databehandling for eksperimenter, der har til formål at undersøge luftmodstanden for kegler, der falder. I skal bestemme formfaktoren for de udleverede kegler med en åbningsvinkel på henholdsvis 60° og 120° .

I skal undersøge, hvorledes den mekaniske energi for keglene ændres under faldet.

Skråplan

Undersøg bevægelse på et skråplan.

I skal undersøge, om der er forskel på en klods, der glider ned ad skråplanet, og en vogn, der triller ned. I skal desuden bestemme gnidningskoefficienten mellem klodsen og skråplanet.

Stående bølger

I skal lave eksperimenter, der har til formål at undersøge stående bølger på en snor. I skal specielt undersøge, hvad bølgenes udbredelseshastighed afhænger af.

Lys, bølgelængde og brydningsforhold

Bestem bølgelængden for forskellige laserpenne. Undersøg derefter, om brydningsforholdet i en akrylklods afhænger af bølgelængden.

Om at tilrettelægge eksperimenter

Somme tider stiller vi os tilfreds med enkeltmålinger, og nogle gange ønsker vi en størrelse eller sammenhæng bestemt på flere forskellige måder. I nogle situationer er 15 % afvigelse acceptabelt, andre gange ønsker vi langt bedre overensstemmelse med en tabelværdi. For eleverne er det ikke oplagt, hvorfor det er sådan. Mere fokus på tilrettelæggelse af eksperimenter kan måske tydeliggøre argumenterne for ellers skjulte valg.

Herunder ses uddrag fra læreplanerne for hhv. fysik B og fysik A. Ordet *tilrettelægge* går igen i dem begge.

B-niveau: Eleverne skal ud fra en given problemstilling kunne tilrettelægge, beskrive og udføre fysiske eksperimenter med givet udstyr og præsentere resultaterne hensigtsmæssigt

A-niveau: Eleverne skal kunne tilrettelægge, beskrive og udføre fysiske eksperimenter til undersøgelse af en åben problemstilling

Der er to betydelige forskelle i ovenstående. For det første indgår de åbne problemstillinger på A-niveau, og for det andet er det tydeliggjort, at der på B-niveau er tale om *givet udstyr*.

I det følgende gives et bud på, hvad tilrettelæggelse af et eksperiment indebærer, og hvordan eleverne trænes i denne disciplin. Først ses på det, der er fælles for både A- og B-niveau, og efterfølgende gives ideer til progression i kravene til tilrettelæggelse på de to niveauer, og tilsvarende for opgraderingshold fra B- til A-niveau.

Fem trin

Tilrettelæggelse af et forsøg kan opdeles i fem trin. Hvert trin afhænger af de øvrige trin, og derfor optræder de fem trin ikke nødvendigvis i en bestemt rækkefølge, når et eksperiment tilrettelægges. Oftest vil det være sådan, at man under tilrettelæggelsen springer frem og tilbage mellem de enkelte trin, netop fordi de har indflydelse på hinanden. Opdelingen kan derfor synes omsonst, men af hensyn til eleverne, er det hensigtsmæssigt at opdele tilrettelæggelse i trin, for ikke at overvælde eleverne med mange krav på en gang.

De fem trin er her formuleret som spørgsmål.

1. Hvad skal undersøges?
2. Hvilket udstyr skal bruges?
3. Hvordan skal opstillingen være?
4. Hvordan tages målingerne?
5. Hvordan behandles målingerne?

Herunder uddybes de enkelte trin.

1. Hvad skal undersøges?

Det kan lyde som et trivielt spørgsmål, som oftest vil være implicit givet, men i mange sammenhænge vil det være vanskeligt for eleverne selv at nå frem til et svar på dette spørgsmål. Det er i tråd med, at læringsmålene ved udførelse af et bestemt eksperiment oftest er bestemt af læreren og overdrages til eleverne uden videre omtale eller begrundelse. Denne del af tilrettelæggelsen ligger altså typisk hos læreren.

Til spørgsmålet om, hvad der skal undersøges, hører selvfølgelig at afdække hvilke fysiske begreber, der ønskes undersøgt. Dette kan involvere at beslutte om

- der skal afdækkes en bestemt sammenhæng mellem fysiske størrelser (fx lineær sammenhæng ml. tryk og dybde i væske, proportionalitet mellem opdrift og volumen af fortrængt væskemængde)
- størrelsen af en (materiale)konstant skal bestemmes (fx c_{messing} , L_{is} , ρ_{sprit} , g , h)
- størrelsen af en fysisk størrelse skal bestemmes i en bestemt situation (fx solindstråling på et bestemt tidspunkt, hvilestofskifte for en bestemt person, acceleration af en bestemt genstand)

Svaret på spørgsmålet om, hvad der skal undersøges kan føre til opstilling af en egentlig hypotese og dermed et formål med eksperimentet.

Man skal være opmærksom på, at det i denne fase ofte vil være nødvendigt at gennemføre indledende forsøg for at afdække muligheder og begrænsninger fx i forbindelse med anvendelse af bestemt udstyr eller for at blive klogere på et bestemt fænomen, og evt. få en kvalitativ fornemmelse for sammenhænge.

2. Hvilket udstyr skal bruges?

Valget af udstyr afhænger fx af, om undersøgelsen skal være kvalitativ eller kvantitativ, og af hvilken præcision der ønskes. Disse krav fremgår typisk af formålet.

For eleverne vil meget åbne spørgsmål om valg af udstyr være vanskelige. Eleverne vil dog ofte kunne resonere sig frem til gode valg, hvis de præsenteres for forskellige typer udstyr, der kan bruges i en bestemt sammenhæng. I de helt simple tilfælde kan eleverne fx stilles overfor valg mellem forskellige typer vægte.

I mange sammenhænge vil det være hensigtsmæssigt at lade en række lærerstyrede forsøg gå forud for elevernes egen tilrettelæggelse af forsøg. Det vil gøre eleverne bekendt med udstyret, så de lettere kan træffe gode valg. Fx kan en klasse arbejde med GM-rør og tællere i forbindelse med bestemmelse af baggrundsstrålingen. Efterfølgende kan eleverne selv bestemme udstyr til fx bestemmelse af halveringstid eller halveringstykkelser. Det kan lyde trivielt, men for eleverne handler valget ikke kun om tæller og GM-rør, men også om fx skydelære vs. lineal.

Til forsøg med bevægelse er det oplagt at introducere eleverne til både videoanalyse og bevægelsessensorer (CBR), inden de sættes til at vælge, hvad der er mest hensigtsmæssigt i en

bestemt sammenhæng. Fx kan eleverne måle på en hoppende bold med CBR og på et skråt kast med videoanalyse. Efterfølgende kan de planlægge, hvilket udstyr, der er bedst i en undersøgelse af fx et kast med en petanquekugle og et faldskærmsudspring eller et basejump.

3. Hvordan skal opstillingen være?

Med til planlægning af opstillingen hører valg om fx placering og fastgørelse af sensorer, og der er spørgsmål om, hvordan man sikrer, at bestemte variable holdes konstant, og om det skal være isolerede forhold i laboratoriet eller autentiske forhold i naturen?

Det er indlysende, at valg af udstyr og valg af opstilling ikke kan ske uafhængigt af hinanden, men det ikke er trivielt at lave en hensigtsmæssig opstilling, selvom al udstyret er givet. Ved øvelsen om bestemmelse af bølgelængden af lyset fra laser ved brug af et optisk gitter ses ofte, at eleverne ikke er opmærksomme på, om opstillingen er symmetrisk. De fleste tænker heller ikke over, om afstanden mellem gitteret og skærmen har betydning. Sådanne overvejelser kan eleverne fordres til at lave i trin 3 af tilrettelæggelsen.

4. Hvordan tages målingerne?

Her skal blandt andet besluttes

- om det skal være enkeltmåling eller gentagelser
- hvor ofte skal der tages en måling
- i hvilket interval skal målingerne tages
- om validiteten af de indsamlede data kan vurderes løbende

En del af beslutninger vedr. selve måleprocessen er fastlagt af udstyr og opstilling, men der vil ofte være plads til egne valg. Specielt ved brug af elektronisk dataopsamlingsudstyr kan det være nødvendigt at overveje programmets indstillinger, for fx at få målinger med et bestemt interval og med rette startpunkt.

Ved øvelsen med laserlysets bølgelængde kan eleverne vurdere, hvor mange målinger, der skal tages, og om der skal bruges forskellige gitre og forskellige afstande. I øvelser med radioaktivitet går overvejelserne på størrelsen af tællertallet.

I forbindelse med opvarmningsforsøg kan det være relevant at overveje, hvor ofte temperaturen skal måles. Med elektronisk dataopsamling går overvejslen nogle gange på, om der kan blive for mange målinger.

Ved længerevarende måleserier er det hensigtsmæssigt at vurdere de indsamlede data løbende. Det forhindrer tidsspilde ved evt. gentagelse pga. fejl i opstilling eller målemetode.

Valg af udstyr, opstilling og målemetode har betydning for usikkerheden på resultatet. På alle niveauer kan vurderinger vedr. valg i forbindelse med tilrettelæggelsen kobles til præcision af data. I de simple øvelser kan valg af fx måleglas eller vægt diskuteres. I mere komplicerede

sammenhænge kan vurderes om bevægelsessensor eller videoanalyse giver den ønskede præcision.

5. Hvordan behandles målingerne?

Krav til databehandling er ofte indirekte givet i beskrivelsen af formålet. Dog kan der stadig være valg som fx

- tabel eller graf
- gennemsnit eller regression
- linearisering eller logaritmiske akser

Valg vedr. databehandlingen bør tages i forbindelse med tilrettelæggelsen af eksperimentet, da disse valg kan have betydning for de øvrige trin i tilrettelæggelsen.

Fokus på mulighederne i forbindelse med databehandlingen giver øget opmærksomhed på forskellige metoders egnethed i bestemte situationer. Ligeledes øges elevernes opmærksomhed på omfanget af databehandlingen. Eleverne er typisk snævert fokuseret på formålet (fx: ”passer bevægelsen med en kaste-parabel?”), og overser derfor oplagte muligheder for at få mere ud af data. Det gælder fx betydningen af konstanter, som optræder i regressionsligninger givet af databehandlingsprogrammer.

Eksempler

1. Hvad ønskes undersøgt?
2. Hvilket udstyr skal bruges?
3. Hvordan skal opstillingen være?
4. Hvordan tages målingerne?
5. Hvordan behandles målingerne?

Herunder gives eksempler på, hvordan forskellige trin kan bringes i spil ved simple målinger. Eksemplerne tager udgangspunkt i typiske fysikforsøg. Bagerst findes en mere omfattende liste med forslag.

Bestemmelse af densiteter, trin 1-5

Vi tænker os, at eleverne er blevet introduceret til begrebet densitet, og at de fem trin er gennemgået med dem uden at referere til måling af densiteter.

Eleverne kan opfordres til at notere deres svar til hvert trin, evt. på et ark, der kan gennemses af læreren, inden de begynder på målingerne. Arket kan indeles og opdeles som vist her til højre.

Med spørgsmålet "Hvad kan vi bestemme densiteten af?" kan første trin udføres af eleverne. Det vil sikkert være nødvendigt at nævne ordet tilstandsformer, for at få eleverne til at vælge materialer på både fast og flydende form. Eleverne kan næppe udføre alle de fem trin for bestemmelse af densiteten af luft, så det forsøg kan udelukkes. Til første trin noterer eleverne et formål for målingerne.

Til andet trin bør findes forskellige vægte, måleglas, linealer og skydelærere, så eleverne har noget at diskutere ud fra. Det samme gælder for tredje trin.

I forbindelse med fjerde trin er det oplagt at bede eleverne om at skrive en egentlig fremgangsmåde på punktform.

100 m løb, trin 1-5

Efter en kort introduktion til sted, gennemsnitsfart og acceleration kan opgaven til trin 1 lyde "Hvilke spørgsmål kan vi stille for at undersøge et 100 m løb?".

Uden videre kendskab til videoanalyse vil svarene til trin 2-4 bygge på måling med stopur og målebånd. Som indledende øvelse kan det fungere udmærket, men det er oplagt at pege eleverne i retning mod bevægelsessensor og videoanalyse, selvfølgelig afhængig af hvilke spørgsmål, der formuleres i trin 1.

Frit fald, trin 1-5

"En genstand falder frit fra forskellige højder. Hvor lang tid tager det, før genstanden rammer gulvet?". Hvis spørgsmålet er givet handler trin 1 om at opskriv alle tænkelige variable (afstand, fart, genstandens form, materiale,...), og dernæst udelukke variable og opstille en hypotese. I den forbindelse kan eleverne evt. opfordres til at lave indledende kvalitative forsøg.

De efterfølgende trin afhænger af elevernes forhåndskendskab til fx videoanalyse.

Der spørges indirekte efter tiden som funktion af højden, men for elever er det ikke oplagt, at der skal ledes efter en formelsammenhæng, idet elever typisk ikke har let ved at jonglere mellem forskellige repræsentationsformer.

Halveringstykkelse for vand, trin 3-4

Vi forestiller os, at eleverne har bestemt halveringstykkelse af bly eller lignende og er derfor bekendt med trin 1-5 for bestemmelse af halveringstykkelse ved en vandret opstilling med GM-rør og kilde placeret langs en horisontal akse. Opstillingen til bestemmelse af halveringstykkelsen for vand kræver, at eleverne indser, at opstillingen kan vendes vertikalt. Overvejelser om afstand mellem kilde og GM-rør samt placering af kilde over eller under vandet, hører med til trin 3.

Overvejelserne til trin 4 er ækvivalente til forsøg med halveringstykkelsen for bly.

I skemaet bagerst (bilag) ses flere eksempler på eksperimentelle øvelser og forslag til, hvilke trin der kan frigøres til eleverne. Hovedparten af eksemplerne er almindeligt kendte fysikforsøg.

Progression

Det er oplagt, at jo flere trin, der er overladt til elevernes valg, des vanskeligere vil opgaven synes. Derfor bør progressionen på den lange bane sigte mod gradvist at åbne flere og flere trin for eleverne. En sådan gradvis overdragelse af beslutningerne til eleverne må starte med trin 5. I næste ryk kan så fx trin 4 og 5 overlades til eleverne.

En helt idealiseret tilgang, hvor der successivt åbnes mere og mere for elevernes egen tilrettelæggelse, kan næppe planlægges i praksis. Progressionen vil finde sted inde for afgrænsede emneforkøb. Hvis fx klassen arbejder med bevægelse, vil eleverne i starten af forløbet typisk have brugt videoanalyse og bevægelsessensorer, så de hen mod slutningen af forløbet kan træffe valg om, hvad der er bedst at bruge i en given sammenhæng. Man vil altså kunne lade dem arbejde med trin 2-5. Men når klassen starter på et nyt emne, er der nyt udstyr, der skal introduceres, før eleverne selv kan tilrettelægge større dele af et eksperiment.

Progressionen i tilrettelæggelsen kan altså både tænkes inde for de enkelte emneforløb og for hele forløbet til B- eller A-niveau.

Fra B til A-niveau

På B-niveau skal eleverne *ud fra en given problemstilling kunne tilrettelægge [...]*. Der er altså ikke krav om, at eleverne skal kunne tilrettelægge eksperimentelle undersøgelser ud fra åbne problemstillinger. Alligevel kan der være flere årsager til lejlighedsvis at lade eleverne arbejde med åbne problemstillinger.

Åbne problemstillinger kan indebære, at eleverne formulerer deres eget formål og deres egen hypotese. Det giver ejerskab og virker motiverende.

Helt lukkede problemstillinger peger ofte snævert mod en bestemt måde at opfylde formålet på. Derfor kan elevernes valg være meget begrænsede. Det er i mange situationer en fordel, men det bør ikke altid være den situation, eleverne møder.

På B-niveau skal eleverne *udføre fysiske eksperimenter med givet udstyr [...]*. Der er altså ikke umiddelbart lagt op til, at eleverne selv skal vælge, hvilket udstyr, der egner sig bedst i en given

situation. Af flere grunde kan det dog være en fordel lejlighedsvis at træne eleverne i at vælge hensigtsmæssigt udstyr. Valg af udstyr hænger ofte sammen med ønsket præcision eller et måleområde, så det kan derfor handle om fx at vælge et bestemt termometer eller en serie lodder med passende masser.

Når der på B-niveau er en *given problemstilling* og *givet udstyr* svarer det til, at der ikke kræves, at eleverne arbejder med trin 1 og 2 i tilrettelæggelsen. Dog tilrådes, at man ikke helt at overse mulighederne for at øve disse trin i undervisningen.

På A-niveau er krævet, at eleverne skal kunne arbejde ud fra en åben problemstilling, og det er ikke nævnt, at udstyret på forhånd er givet. I disse krav er der altså et væsentligt skridt fra B- til A-niveau. På opgraderingshold kræver dette opmærksomhed.

På mange opgraderingshold, hvor eleverne kommer fra forskellige klasser, har eleverne ofte lavet selv de mest almindelige eksperimenter med et lidt forskelligt fokus og lidt forskellig udstyr. Derfor kan det være nødvendigt at repetere. I den forbindelse er det oplagt at træne eleverne i valg af formål eller hypotese og valg af udstyr.

Det ekstra længerevarende forløb, som eleverne skal have på A-niveau, er også oplagt at bruge til at træne eleverne i håndtering af en åben problemstilling og valg af udstyr.

Bilag: Flere eksempler

I tabellen er givet forslag til, hvordan forskellige trin kan overlades til eleverne. Til højre i tabellen ses, hvilke trin, der foreslås frigjort til eleverne. Eksemplerne er velkendte forsøg. Til hvert eksempel er givet en kort beskrivelse.

Bemærk, at anvendeligheden af eksemplerne selvfølgelig er afhængig af hvilket udstyr, der er til rådighed.

Energi	
Effekten af et husholdningsapparat	
Sammenhørende værdier af elektrisk energi og tid måles. Eleverne kan inden øvelsen overveje antallet af målinger, og hvordan databehandlingen skal foretages. Her er fx valg vedr. enkelt udregning, gennemsnit eller bestemmelse vha. hældningen til en graf.	
	4
	5
Energiindholdet i peanuts	
En peanut afbrændes under et reagensglas med vand. Energiindholdet skal bestemmes. Systemets nyttevirkning kan bestemmes ved at afbrænde en kendt mængde sprit under reagensglasset med vand. Ifbm. opstillingen skal bl.a. afstanden mellem peanut og reagensglas overvejes.	
	3
	4
	5

Energi	
Bevarelse af mekanisk energi	
En hoppende bold filmes eller måles med bevægelsessensor. Er den mekaniske energi bevaret? Hvis eleverne har kendskab til videoanalyse og bevægelsessensor behøver de kun formålet (trin 1). Øvelsen kan udvides med en bold kastet skråt.	2
	3
	4
	5
Lyd og lys	
Lydens fart i luft	
Uanset hvilken variant af denne øvelse, der laves, er der valg vedr. afstande, antallet af målinger og databehandlingen, som kan overlades til elevernes overvejelser før målingerne begyndes.	
	4
	5
Resonansfrekvenser i rør	
Der er mange varianter af denne øvelse. Antallet af målinger og tolkning af konstanter hører til de valg, der kan træffes i trin 4 og 5. Opstillingen (trin 3) må afhænge af det tilgængelige udstyr.	
	3
	4
	5
Bølgelængden for laserlys i vand	
Eleverne bør have lavet øvelsen om bølgelængden af laserlys vha. optisk gitter. Når bølgelængden i vand skal bestemmes, skal gitteret placeres på siden af et kar med vand. Det er ikke trivielt for eleverne at få lavet en fornuftig opstilling. Trin 4 og 5 er ækvivalent til forsøget udført i luft.	
	3
	4
	5
Absorption af lys i glas	
Laserlys sendes gennem dækglas. Intensiteten måles med en lysmåler. Der er overvejelser vedr. afstand mellem lyskilde og dækglas, og vedr. bredden af lysstrålen (skal der indskydes en linse i opstillingen?). Til trin 4 er der overvejelser vedr. antallet af målinger og indstilling af program. Til trin 5 overvejes bl.a. indretning af koordinatsystem.	
	3
	4
	5
Afstandskvadratloven	
Øvelsen kan laves med en ophængt pære og en lysmåler. I udvælgelsen af udstyret kan eleverne fx vælge mellem målebånd, bevægelsessensor, forskellige lyspærer (fx led, glødepære, laser, halogenpære). I databehandlingen kan det være nødvendigt at udvide modellen med en konstant for "baggrundslys". Det er dog ikke oplagt i planlægningen.	2
	3
	4
	5

Energi	
Elektriske kredsløb	
Karakteristikker	
Hvad enten der bruges elektronisk dataopsamling eller multimeter, skal måleområde og antallet af målinger besluttes. Til trin 5 hører ofte en fortolkning af grafer og evt. bestemmelse af resistansen.	
	4
	5
Effektkurver	
Ud fra målinger af strømstyrke og spændingsfald bestemmes effekten af fx en solcelle. Hvis opgaven er, at undersøge effekten for hhv. serie- og parallelforbindelse, kræver det, at eleverne nøje overvejer, hvordan komponenterne forbindes. Til trin 4 og 5 hører beslutninger omkring måleområde og antallet af målinger.	
	3
	4
	5
Resistivitet	1
Her betragtes en metaltråd af en bestemt materiale. Hvad afhænger trådens resistivitet af? Der skal opstilles en liste med mulige variable, og en (måske flere) hypotese(r) skal opstilles. Det er vanskeligt for elever at gennemskue, at tråden kan lægges dobbelt for at få dobbelt tværsnitsareal.	2
	3
	4
	5
Kvantefysik	
Halveringstid	
Bestemmelse af halveringstiden for Ba [*] -137 lægger ikke op til elevernes egen tilrettelæggelse, men derimod er forsøget godt til at gøre eleverne bekendt med udstyr og målemetoder. Eleverne kan dog selv planlægge databehandlingen. Hvis eleverne har kendskab til udstyret kan flere trin åbnes for eleverne.	
	5
Afstandskvadratloven	
Tællertallet fra en gammakilde måles i forskellige afstande fra kilden. Hvis eleverne er bekendt med måleudstyret giver opstillingen næsten sig selv, mens måleområde, antal målinger m.m. kræver lidt mere af eleverne. Til trin kan overvejes brug af dobbeltlogaritmisk koordinatsystem.	
	3
	4
	5
Halveringstykkel	
Idet mange forskellige materialer kan komme i spil, kan eleverne selv vælge tilhørende udstyr. Fx skal der bruges en egnet beholder, hvis halveringstykkel af vand skal bestemmes.	2
	3

Energi	
	4
	5
Mekanik	
Tryk i væsker	
Med en elektronisk trykmåler påsat en plastikslange kan trykket som funktion af dybde i en væske måles. Eleverne kan tilrettelægge måleinterval og præsentation samt fortolkning af data, herunder grafens hældning og konstantled.	
	4
	5
Opdrift	
Sammenhængen mellem opdrift og fortrængt volumen kan fx måles ved at nedsænke i væske et objekt ophængt i en kraftmåler. De oplagte åbne ender er trin 4 og 5, hvor der blandt er valg vedr. bestemmelse af nedsænket volumen og fortolkning af konstanter ifbm. databehandlingen.	
	4
	5
Gnidningskoefficienter	
Hvis eleverne på forhånd har regnet opgaver om gnidningskoefficienter vil de med hjælp kunne tilrette forsøg om emnet. Man kan på forhånd have fundet en række genstande (fx træklodser, papæsker, legetøjsbiler,...), som kan bruges. Der er valg vedr. fx bevægelsessensor eller videoanalyse.	2
	3
	4
	5
Luftmodstand	
Kageforme falder (flere inde i hinanden for at variere massen). Hvilken sammenhæng er der mellem slutfarten og massen?	2
Trin 2-3, kun hvis lignende målinger (fx frit fald) er kendt.	
	3
	4
	5
Cirkelbevægelse	1
Et ophængt legetøjsfly med motor kan bruges til et åbent spørgsmål som fx "Undersøg bevægelsen af flyet". Eleverne skal da først beslutte, hvilke sammenhænge og variable de kan variere og måle. En del af udstyret er givet på forhånd, men der er stadig mange åbne ender, fx stopur eller tidsmåling vha. videooptagelse.	2
	3
	4
	5
Elektriske og magnetiske felter	
Coulombs lov	
Kraften mellem to ladede stålkugler kan måles ved at placere den ene kugle på en vægt mens den anden kugle fastmonteres i et stativ ovenover. Stålkugler oplades af en bestemt spænding. Sammenhængen ml. spændingen og kraften kan undersøges.	

Energi	
	4
	5
Laplaces lov	
Med det givne udstyr er der ikke mange frihedsgrader. Dog kan eleverne vælge, hvilke intervaller, der kan måles indenfor, og hvordan data bedst præsenteres. Variabelkontrol kan inddrages.	
	4
	5
Induktion	1
Med ledninger, spoler og et voltmeter kan eleverne undersøge, hvad den inducerede spænding afhænger af. De kan opfordres til at lave kvalitative undersøgelser af sammenhænge ml. forskellige variable (fx antal magneter, fart af magneterne, antal vindinger).	2
	3
	4
	5

Længerevarende eksperimentelle undersøgelser

I læreplanen for fysik B er der under punktet med arbejdsformer følgende krav:

Der skal tilrettelægges mindst ét længerevarende forløb, hvor eleverne i mindre grupper arbejder med en selvvalgt, eksperimentel problemstilling.

I læreplanen for fysik A står der ikke ét men to.

I vejledningen er ordet længerevarende præciseret til en varighed på 8-10 timers arbejde i laboratoriet.

I forbindelsen med opstarten af forløbet informeres eleverne om formål og rammer for forløbet. Flere af de faglige mål kan være relevante. Oplagt er det, at eleverne får mulighed for at udvikle evnen til selvstændigt at *tilrettelægge* det eksperimentelle arbejde.

På A-niveau er der et yderligere krav om, at eleverne kan behandle en åben eksperimentel problemstilling, hvilket også er oplagt at træne i de længerevarende eksperimentelle forløb.

Undervisningens tilrettelæggelse

Inden opstart på det længerevarende eksperimentelle forløb, må man tage stilling til, hvor mange frihedsgrader eleverne skal have.

- ◆ Skal de selv vælge emne eller er der et overordnet emne - fx mekanik eller energi?
- ◆ Skal de selv lave problemformuleringen?

- ◆ Er de eksperimentelle metoder helt frie eller skal bestemte eksperimentelle metoder indgå - f.eks. kalibrering?
- ◆ Skal bestemte fysiske teorier indarbejdes - fx energibevarelse?
- ◆ Er det frit, hvad der skal måles eller er der her bestemte krav - fx at en nyttevirkning skal måles.

Jo flere frihedsgrader eleverne får, jo mere styring, f.eks. i form af milepæle eller vejledningsmøder, må der være undervejs i forløbet, for at sikre fremgang og støtte eleverne i processen. Det kan f.eks. være, at eleverne efter et par lektioner skal aflevere eller præsentere problemformulering, hypoteser, tidsplan og forsøgsdesign.

De gode idéer til "selvvalgt, eksperimentel problemstilling"

Hvordan får eleverne den gode idé? Oftest kommer det desværre ikke af sig selv, og vi må guide dem gennem en kreativ fase, hvor forskellige ideer opstår. Her kan man søge inspiration til aktiviteter ved diverse konkurrencer, f.eks. Science Cup eller i skolernes innovationsforløb.

For at eleverne er i stand til at formulere fysikfaglige spørgsmål til det længerevarende eksperimentelle forløb, skal dette være trænet i løbet af undervisningen. Det kunne som en start ske ved, at bede eleverne tage stilling til en række spørgsmål, for at vurdere om det stillede spørgsmål er af naturvidenskabelig karakter.

Man kunne også i undervisningen lade eleverne arbejde med en model for, hvorledes gode naturvidenskabelige spørgsmål stilles. Her kunne lakmusprøven være, om spørgsmålet lever op til følgende kriterier:

- ◆ Har spørgsmålet et svar?
- ◆ Kan spørgsmålet testes i eksperimentelle undersøgelser?
- ◆ Kan svaret på spørgsmålet udbygge den information, vi allerede har?
- ◆ Når der svares på spørgsmålet, afføder det så nye spørgsmål?

I den forbindelse kunne eleverne blive bedt om at vurdere en række spørgsmålspar med henblik på at vurdere hvilket af de to naturvidenskabelige spørgsmål, der er bedst f.eks.

- A. Hvordan fungerer en solcelle?
- B. Hvilken betydning på nyttevirkningen har belastningen af en solcelle?

Nedenfor findes konkrete forslag til, hvorledes eleverne får inspiration i den kreative fase af det eksperimentelle forløb, hvor eleverne selv finder deres problemstilling.

Post-it

Alle elever skriver på 5 min en række ideer som efterfølgende klistres på tavlen. Det er vigtigt, at eleverne i denne øvelse ikke tænker i begrænsninger, og at alle elever skal producere mindst 3 post-it's. Man kan sætte en hel række billeder i en powerpoint til at køre på projektor som inspiration.

Efterfølgende går eleverne op og vælger én post-it med en idé, som de gerne vil arbejde videre med. De må ikke vælge deres egen. Nu laves en skriveøvelse, hvor hver elev, evt. i et fælles dokument, laver en hurtigskrivning omkring den valgte idé. Skriveøvelsen kan evt. gentages på sidemandens idé. Herefter sætter grupperne sig sammen, og hver elev præsenterer den idé, de har arbejdet med, hvorefter gruppen vælger blandt de præsenterede, det de gerne vil arbejde videre med i det eksperimentelle forløb. Resten skrottes.

Mindmap

Eleverne kan bruge mindmap, f.eks. www.bubbl.us, til at få styr på deres idéer. Det kan være med udgangspunkt i konkret spørgsmål fx: *Er der noget i din hverdag, du undrer dig over?* eller *Hvordan har fysik påvirket din dag inden for de seneste 24 timer?*

Opsamling i løbet af skoleåret

Man kunne som lærer i løbet af skoleåret være opmærksom på forskellige eksperimentelle problemstillinger og elevspørgsmål, der løbende dukker op. Disse kunne samles sammen og bruges som inspiration for eleverne i det eksperimentelle forløb.

Flyums 7-trins model

Gennem en række små skriveøvelser sættes gang i nogle tankeprocesser, således at eleverne bliver sporet ind på at stille relevante og brugbare spørgsmål. Der afsættes ca. 60 min, og eleverne bliver bedt om følgende:

1. Hurtigskrivning om emnet/ideen (5 min)
2. Find et hovedbudskab fra hurtigskrivningen, som formuleres i én sætning (5 min)
3. Formuler dit hovedbudskab som et spørgsmål (5 min)
4. Formuler alternative spørgsmål (10 min)
5. Vurder spørgsmålene sammen med en kammerat (20 min)
6. Vælg dit endelige hovedspørgsmål ud fra ét af alternativerne eller det oprindelige hovedspørgsmål (5 min)
7. Forklar, hvorfor det valgte hovedspørgsmål er værd at stille og værd at søge svar på (5 min)

Flyums 7-trins model er beskrevet flere steder på nettet. Se fx skrivemetroen fra Fredericia Gymnasium³.

³ http://skriftlighed.fr-gym.dk/udforsk/Udforskende_skrivning/7-punkt.html

Elevernes produkt

I vejledningen til læreplanerne er der lagt op til, at det længerevarende eksperimentelle forløb afsluttes med en grupperapport. Der er også andre muligheder, som kan træde i stedet for rapporten eller supplere denne.

Eleverne kan afslutte forløbet med en postersession evt. sammen med en anden klasse, hvor eleverne på skift bemander deres poster og står klar til uddybende spørgsmål. Den producerede poster skal indeholde et udpluk af de informationer, som en grupperapport indeholder og give svar på følgende:

- ◆ Hvilke problemstillinger er undersøgt og hvorfor?
- ◆ Hvordan er de undersøgt?
- ◆ Hvilke resultater er fremkommet?
- ◆ Hvordan hænger det sammen med andres undersøgelser eller teori?
- ◆ Hvad kan konkluderes?

En afrapportering i form af screencast eller video er en anden mulighed for afslutning, hvilket i højere grad sætter fokus på den mundtlige formidling, og har den fordel, at eleverne kan øve sig og evt. gøre det igen. Denne form kræver, at eleverne tidligt i forløbet er opmærksom på produktformen, så de undervejs kan dokumentere i form af billeder eller små videoklip.

Den sidste pind af de faglige mål for både fysik A og B er:

– kunne formidle et emne med et fysikfagligt indhold til en valgt målgruppe.

Denne kompetence kan også trænes i det eksperimentelle forløb ved fx som produkt at bede eleverne skrive en artikel, som samles til en samlet avis omkring klassens eksperimentelle forløb eller ved at bede eleverne lave en brochure, der informerer om konsekvenser eller samfundsnyttens af det gennemførte forløb.

I skolernes kompetenceplan findes en oversigt over hvilke almene, faglige, personlige og sociale kompetencer eleverne gennem gymnasieforløbet skal tilegne sig. Det eksperimentelle forløb bør indtænkes i denne progression og trække på de kompetencer, der arbejdes med i Almen Studieforbereelse. Hvis eleverne har arbejdet med taksonomiske niveauer, skrive problemformulering og problemstillinger, reflekteret over fagenes metoder, kan det eksperimentelle forløb understøtte dette.

Eksempler

Eksempel 1: eksperimentelt forløb - forslag til opstart

(meget frit)

I det eksperimentelle forløb skal I vise, at I kan arbejde fysikfagligt med en selvvalgt problemstilling. I skal dog kunne argumentere for, at det er fysik, I laver, og at I bruger de eksperimentelle metoder, vi har i fysik.

Efter den fælles startlektion, hvor gruppen har valgt deres eksperimentelle problemstilling, skal I gå i gang med planlægningen.

I 3. lektion skal gruppen aflevere en detaljeret plan for resten af forløbets lektioner. Her skal I redegøre for følgende punkter:

- ◆ Hvad vil I undersøge og hvorfor?
- ◆ Hvordan vil I strukturere dataindsamlingen? (herunder overvejelser omkring måleserier, variabelkontrol og relevante værdier for de fysiske størrelser, der skal måles.)
- ◆ Hvilke hypoteser har I?
- ◆ Har I noget teori, der kan kobles på jeres undersøgelser?

Eksempel 2: eksperimentelt forløb om mekanik

(begrænset i emne ellers næsten frit)

I skal selv planlægge en række eksperimenter, der illustrerer bevægelse (noget med sted, hastighed og acceleration). Det letteste er bevægelse i en dimension, og der er ikke krav om mere i denne omgang.

Grupperapporten skal indeholde en videoanalyse af et lodret kast (bemærk, at man kan betragte sidste halvdel af et lodret kast som et frit fald). Derudover skal I lave bevægelsesanalyser vha. videooptagelse, CBR, smartpulley, accelerometer eller andet.

Der skal afleveres en grupperapport med 5 elevtimer pr. elev.

Brug fantasien til at finde et emne eller se på nedenstående liste og formuler en række problemstillinger, som vi diskuterer i lektionerne inden det eksperimentelle arbejde går i gang.

- Hop
- Vandraket
- Luftmodstand
- Gnidning
- Fodbold
- Svømning
- Badminton
- 60 m løb
- Golf
- Cykel
- Boksning
- Hesteløb
- Biler
- Gang
- Løbehjul
- Rulleskøjter
- Både og vand
- Noget helt andet

Eksempel 3: Eksperimentelt forløb og gruppearbejde vedr. boligens energiforhold (meget bundet forløb)

Ekperimentelt arbejde:

Grupperne arbejder med en af følgende problemstillinger:

- a) Hvordan udnytter et jordvarmeanlæg jordens varme til at opvarme huse?
- b) Hvilken betydning har isolering på et hus' varmeregning?
- c) Hvilke fordele og ulemper er der ved boligens forskellige lyskilder: sparepærer, glødepærer, diodelamper og halogenspots?
- d) Hvordan er "energiforbruget" ved madlavningen på forskellige komfurer: induktion, kogeplader og gaskomfur
- e) Hvordan kan vi reducere den energi, vi bruger på at lave varmt vand til et hus?
- f) Hvor effektiv er en brændeovn, og hvilken betydning har den på indeklimaet i et hus?

Tidsplan

I selv skal sørge for at give hinanden lektier for til de forskellige lektioner, så I får

- lavet forsøgene
- bearbejdet data og konkluderet på forsøgene
- læst og bearbejdet evt. teori
- forberedt produkt til præsentation (jf. nedenstående)

Produkter

1. Der udarbejdes en gruppe rapport
2. Alle grupper laver en power point-præsentation (varighed præcist 10 minutter) af et af forsøgene a)-f). Præsentationen skal indeholde svar på følgende spørgsmål:
 - Hvilket problem har vi undersøgt? (Problemformulering)
 - Hvad gjorde vi?
 - Forsøgsresultater (præsenteret som graf)
 - Konklusion