

NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND  
TECHNOLOGY

TFY4163 BØLGEFYSIKK OG FLUIDMEKANIKK

---

**Eksperimenter og demonstrasjoner i  
bølgefysikk og fluidmekanikk**

---

*Forfatter*  
Michael Robert KELLY

16. januar 2020

---

## Sammendrag

Her forklares en rekke eksperimenter og demonstrasjoner innen bølgefysikk og fluidmekanikk. Eksperimentet i fluidstatikk, samt en rekke andre demonstrasjoner, er mulige å gjennomføre, og utstyr til dette er tilgjengelig. Eksperimentet om Dopplereffekt er ufullstendig og en trenger utstyr som ikke er tilgjengelig, men dette er en idé som kan videreutvikles.

---

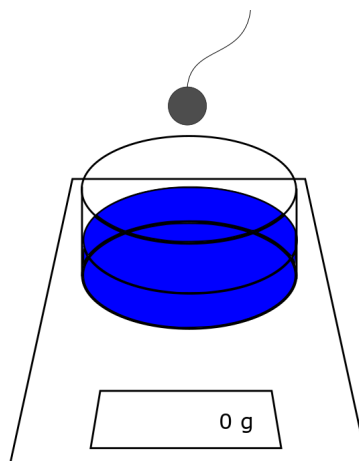
## Introduksjon

Målet med disse eksperimentene og demonstrasjonene vil være å gi studentene en mer intuitiv forståelse av teorien og de ulike fysiske fenomenene innenfor bølgefysikk og fluidmekanikk. Her vil det presenteres en rekke ulike eksperimenter og demonstrasjoner som kan gjennomføres på lab eller demonstreres i forelesning.

Utstyr er tilgjengelig på lager for alle eksperimenter og demonstrasjoner som nevnes her, med unntak av for eksperimentet i Dopplereffekt.

## Eksperiment i fluidstatikk

Dette eksperimentet er i stor grad inspirert av en artikkel fra MUSE-gruppen [1]. Her presenteres en rekke ulike eksperimenter i fluidmekanikken, som kan brukes for å styrke studentenes forståelse for faget. Eksperimentet som foreslås for dette faget omhandler Archimedes' prinsipp og oppdriftkraft. Dette forsøket kan gjennomføres enten på laben eller i øvingsforelesninger. Et forslag til oppsett er vist i figur 1.



**Figur 1:** Oppsett av eksperiment i fluidstatikk. Et kar med vann står på en vekt, og en kule senkes ned i vannet.

Et kar med vann plasseres på en vekt. Deretter vil et objekt, som kan være for eksempel en jernkule, hengende fra en tråd senkes ned i vannet uten å røre karet. Vannivået vil da stige, og tallet som vekten viser vil også gå opp. Forsøket dreier seg da om å forklare disse effektene. Før forsøket kan studentene forsøke å svare på en rekke spørsmål, og begrunne sine svar.

- Hva vil skje med vannet når objektet senkes ned?
- Hva vil skje med vekten når objektet senkes ned?
- Kan du forklare hvorfor vekten stiger?
- Hvordan vil dette påvirkes dersom vannet erstattes av olje (tetthet  $\rho = 0.8g/cm^3$ )?
- Hvordan vil dette påvirkes dersom objektet blir større?
- Hva vil skje dersom objektet (f.eks jernkule) erstattes av et objekt med lavere/høyere tetthet (f.eks trekule)? Hvor stor tetthet må objektet ha før den begynner å flyte, og hva skjer med vekten da?
- Hva skjer med vekten dersom vi senker objektet helt til bunns?

Svarene til studentene vil da være relatert til Archimedes' prinsipp, oppdriftskraften og krefter/motkrefter, som skal dekkes i pensum. Kort forklart, når objektet senkes ned vil vannivået stige, siden objektet fortrenger en del av vannet og skyver det oppover. Et objekt som senkes ned i en væske opplever en oppdriftskraft lik vekten til væsken den fortrenger. Men, i følge Newtons tredje lov, vil vi også ha en like stor og motsatt rettet motkraft. Det er denne som virker på vekten, og som gir en økning. En ser da også at økningen på vekten er proporsjonal med oppdriftskraften. Et tungt nok objekt, som har større tetthet enn væsken den er ligger i, vil ha en vekt større enn vekten til væsken som er fortrenget og vil dermed synke. Dersom tettheten til objektet er lavere enn tettheten til væsken vil objektet flyte, og kun fortrenge en liten del av væsken. Hvis væsken erstattes av en med lavere tetthet vil tallet på vekten synke, siden vekten til væsken som fortrenses minsker. Hvis objektet allerede har så høy tetthet at den vil synke i væsken, vil en økning av tettheten til objektet ikke gi noe utslag på verken vannivået eller vekten, siden dette avhenger av tettheten til væsken, og ikke objektet. Når objektet er helt nedsunket i væsken vil vekten vise det samme uansett hvor dypt objektet er, helt til den treffer bunnen. Da vil vekten naturligvis øke med vekten til objektet, ikke med vekten til væsken den fortrenger.

Dette eksperimentet gir en god intuitiv forståelse for fluidstatikken og oppdriftskraften. Det kan også lages regneoppgaver til dette forsøket. Studentene kan regne på hva vekten vil vise, gitt en væske med kjent tetthet, og objekt med kjent volum og tetthet. Vekten kan også regnes ut for ulike kombinasjoner av væske og objekt med kjent volum og tetthet.

### **Eksperiment i dopplereffekt**

Målet med dette forsøket er å gjenskape en politi radarpistol, som bruker dopplereffekten til å måle relativ hastighet til en bil. Dette kan gjenskapes på laben ved hjelp av en laser med sensor og en bil eller et annet objekt som beveger seg med konstant hastighet på en bane. Laseren vil sende ut bølger med en gitt frekvens, som reflekteres av objektet, og måles av sensoren med en annen frekvens. Dette forsøket anbefales å gjøres på lab, da det også kan gi en innføring i bruk av relevant måleutstyr.

### Teoretisk

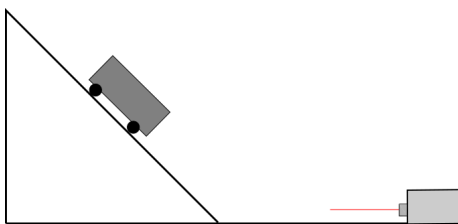
En stasjonær observator kan bruke en radar med frekvens  $f_0$ , til å måle farten til en bil. Forholdet mellom observert frekvens  $f$  og utsendt frekvens  $f_0$  er

$$f = \left( \frac{c \pm v_r}{c \pm v_s} \right) f_0,$$

der  $c$  er farten til bølger i mediumet de sendes i,  $v_r$  hastighet til mottaker relativt til mediumet og er positivt om mottaker beveger seg mot kilden,  $v_s$  hastighet til kilden relativt til mediumet og er positiv dersom kilden beveger seg vekk fra mottaker.

### På laben

Anta at bilen beveger seg med konstant hastighet  $v$  mot den stasjonære observatøren. Da vil frekvensen  $f_1$  som bilen observerer være lik  $f_1 = \left(1 + \frac{v}{c}\right) f_0$ , der  $v$  er hastigheten til bilen. Denne bølgen vil reflekteres tilbake til observatøren, men nå med en observert frekvens på  $f_2 = \left(1 + \frac{v}{c}\right) f_1$ . En kan da finne farten  $v$  til bilen ved å måle frekvensen  $f_2$  på den reflekterte bølgen, siden  $f_0$  er kjent. Et forslag til hvordan man kan sette opp eksperimentet er vist i figur 2.



**Figur 2:** Oppsett av eksperimentet i Dopplereffekt. Bil på skråplan og en sensor som sender ut laserstråle med gitt frekvens og mottar den reflekterte strålen.

Forsøket antar at bilen beveger seg med konstant hastighet direkte mot observatør. Dersom bilen ikke beveger seg slik, men heller med en vinkel i forhold til observatøren, kan eksperimentet settes opp slik som illustrert i [2]. Her blir det brukt en Delta DRS1000 Speed Sensor, som sender ut en radiobølge med konstant frekvens på  $35.5GHz$  og måler og analyserer den reflekterte bølgen og gir farten til objektet. I følge spesifikasjonene til utstyret, vil sensoren kunne måle hastigheter mellom  $0.8 \text{ km/h}$  og  $480 \text{ km/h}$ , som tilsvarer mellom  $0.22-133.33 \text{ m/s}$ . Hvis oppsettet til eksperimentet er slik at bilen slippes fra toppen av et skråplan eller en rampe, vil denne måtte være høyere enn  $1.27 \text{ cm}$  høy (om en ikke regner med tap på grunn av friksjon eller luftmotstand). En kan dermed f.eks bruke et  $10 \text{ cm}$  høyt skråplan, og da ideelt sett få en hastighet på  $1.4 \text{ m/s}$ , langt innenfor rekkevidde for sensoren. Pris på sensoren oppgis ikke på nettstedet. En alternativ sensor finnes her. Utstyr for dette eksperimentet er ikke tilgjengelig, og må eventuelt bestilles opp eller lages på lab.

### Diverse demonstrasjoner

#### Demonstrasjon av heverteffekten

En demonstrasjon av heverteffekten kan gjennomføres under forelesningen. En slange flytter væske fra et høytliggende reservoar til et lavtliggende reservoar uten bruk av pumping. Dette

krever at det ligger væske i slangen. Her trenger man to kar, der det ene karet er fylt med vann, og en slange, samt noe høyt å sette det fylte karet på.

#### *Interferensmønster i vann*

Et kar er fylt med vann, og to pinner dyppes ned i vannet med fast avstand og fast frekvens. Dette vil skape et interferensmønster. Denne demonstrasjonen er ment for å gi en intuitiv forståelse av interferensmønsteret og hvorfor det blir slik. Dette kan godt tenkes på som en vannbølgeversjon av Youngs kjente dobbeltspalte forsøk.

#### *Demonstrasjon av aerodynamisk løft*

En demonstrasjon av aerodynamisk løft kan gjennomføres under forelesningen ved hjelp av en vifte. Denne kan legges horisontalt og brukes til å måle en trykkurve på en flyvinge. Den kan også stå vertikalt, slik at en kan se hvordan luftstrømmen rundt en liten plastball blir. For den første demonstrasjonen trenger man en vifte, en flyvinge-modell og en trykkprobe. For den andre demonstrasjonen trenger man kun viften og en liten plastikkball.

#### *Resonans med to stemmegaffler*

En stemmegaffel slås mot bordet og gir en tone. Så føres en stemmegaffel i nærheten av den første, og en vil få resonans da den andre stemmegaffelen gir samme tone. Da denne lyden vil være relativt lav, er det bedre å gjennomføre denne demonstrasjonen i små grupper i en øvingsforelesning enn i plenum i forelesning. Idé hentet fra [3].

#### *Resonans i rør*

En stemmegaffel er festet i et stativ inntil et langt glassrør som også står i vann. Når stemmegaffelen slås vil det skapes en tone som resonerer i glassrøret, på samme måte som for to stemmegaffler. Ved å variere vannivået, vil en kunne skape andre toner. Idé hentet fra [3].

#### *Doppler buzzer*

Idé hentet fra [4]. En piezoelektrisk buzzer festes i en ball, som er koblet i et tau. Denne svinges rundt, og en kan da merke Dopplereffekten. Foreleser kan da også spørre studentene om de tror personen som svinger ballen også vil merke effekten.

Det er også interessant å se hvordan lyden påvirkes dersom man står nærmere eller lengre unna observatoren. En vil merke at dersom en står nærmere vil intervallene mellom høy og mørk tone endres.

Det er også mulig å bruke en app som heter Physics Toolbox Sensor Suite til å måle lydfrekvensen til buzzeren. Denne appen er gratis og tilgjengelig på både Android og iOS. Denne appen kan med fordel også brukes i eksperimentene med resonans og stemmegafflene, hvis lyden er vanskelig å høre kun med øret.

## **Referanser**

- [1] L. Viennot, G. Planinsic, E. Sassi, C. Ucke. 2009. Varius experiments involving fluids statics. [https://cdn.ymaws.com/www.eps.org/resource/collection/016775D4-8888-474D-887F-3E33AEA5E6D0/EPSPED\\_MUSE\\_fluids7.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.eps.org/resource/collection/016775D4-8888-474D-887F-3E33AEA5E6D0/EPSPED_MUSE_fluids7.pdf)
- [2] GMH Engineering. 2017. Non-contact speed measurement using Doppler radar. [http://www.gmheng.com/application\\_note\\_1000.pdf](http://www.gmheng.com/application_note_1000.pdf)
- [3] Jonas Persson. 2003. Idébok i Akustikk.
- [4] Keith Gibbs. 1999. The resourceful physics teacher: 600 ideas.

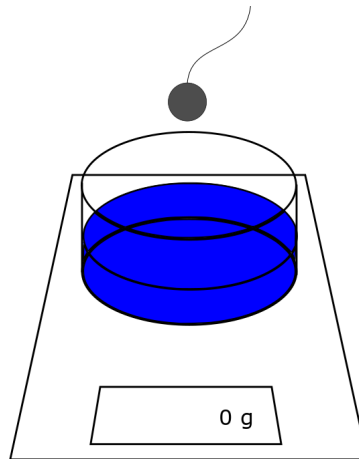
## Vedlegg

### Skisse for eksperiment i fluidstatikk

Dette eksperimentet er ment for å gi en forståelse for hvilke krefter som er involvert i Arki- medes' prinsipp. Det er vanlig å kun tenke på den oppover-rettete kraften som virker på det nedsunkede objektet, altså oppdriftskraften. For å forstå dette eksperimentet må en også tenke på den nedover-rettete kreften på vannet fra objektet, altså motkraften til oppdriftskraften.

### Oppsett

Et kar er fylt med vann og satt på en vekt. En kule festes i en tråd og senkes ned i vannet, uten å røre karet. Dette vil gi en økning på vekten. Vi har to kuler, en messingkule og en kule av rustfritt stål. Tetthet er kjent (rustfritt stål har høyere tetthet enn messing), og volum av de to kulene er like. Dersom en har verdiene på tetthetene og volumene, kan en også be studentene regne ut svarene før de tester om dette stemmer.



**Figur 3:** Oppsett av eksperiment i fluidstatikk. Et kar med vann står på en vekt, og en kule senkes ned i vannet.

### Spørsmål

Alle spørsmål bør begrunnes.

1. Hva skjer med vannivået når vi senker ned kulen, og hvorfor?
2. Hva skjer med vekten når vi senker ned kulen, og hvorfor?
3. Hvis vi senker ned kulen av rustfritt stål istedenfor messingkulen, hva skjer med vannivået og med vekten? Begrunn.
4. Hvis vi bruker olje (tetthet  $\rho = 0.8g/cm^3$ ) istedenfor vann, vil dette gi noen utslag på vannivået eller vekten? Begrunn.
5. Hva skjer med vekten dersom vi senker objektet helt til bunns? Begrunn.

### *Forklaring*

Når en kule senkes ned i vann vil den oppleve en nedover-rettet motkraft til oppdriftskraften, ifølge Newtons tredje lov. Altså vil vektøkningen tilsvare oppdriftskraften, og ikke vekten til objektet selv.

Hvis vi senker kula av rustfritt stål ned istedenfor messingkula, vil vannivået stige like mye (siden de har samme volum). Vekten vil også vise det samme, siden vektøkningen er på grunn av oppdriftskraften (som er uavhengig av tettheten til det nedsunkede objektet).

Hvis vi bruker olje istedenfor vann, vil vekten vise en lavere verdi. Oppdriftskraften er avhengig av tettheten til væsken som blir fortrengt. Altså vil en få en lavere kraft på grunn av lavere tetthet.

Hvis vi slipper kula, vil den treffe bunnen og vi får en større verdi på vekten. Nå regner vi også med vekten til kula, og ikke bare oppdriftskraften.