

**Ingrid Langdal,  
Ingeborg Berg (red.)**

# **Bølgeløypa 2025 – Veiledningshefte**



**NTNU**

**Skolelaboratoriet  
for matematikk,  
naturfag og teknologi**

**Institutt for energi- og  
prosessteknikk**

**Institutt for  
elektroniske systemer**

Januar 2025

Bølgeløypa 2025 – veiledningshefte

Layout og redigering: Ingeborg Berg

Tekst: Ingrid Langdal

Forsidebilde: Per Henning/NTNU

Spørsmål rettes til:

**Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU**

v/Ingeborg Berg, 73 59 19 44, e-post: [ingeborg.berg@ntnu.no](mailto:ingeborg.berg@ntnu.no)

<http://www.ntnu.no/skolelab>

Bølgeløypa – veiledningshefte

Utgave 3.0 – 03.01.25

Bølgeløypa 2025 er støttet økonomisk av:



**I tillegg bidrar Institutt for energi- og prosessteknikk og Institutt for elektroniske systemer med betydelig egeninnsats.**

**Vi takker alle bidragsytere!**

# Bølgeløypa 2025 – Veiledningshefte

**Ingrid Langdal  
Ingeborg Berg (red.)**

Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi, NTNU  
Institutt for energi- og prosessteknikk  
Institutt for elektroniske systemer





## Forord

Når vi ser på det som er knyttet til fysikk i læreplanen til naturfag VG1, ser vi at elevene blant annet skal utforske og beskrive sentrale bølge-fenomener. De skal også utforske elektromagnetisk stråling og forklare hovedprinsippene i trådløs kommunikasjon, og i tillegg lage programmer som modellerer naturfaglige fenomener. Det er dette som har vært bakgrunnen vår når vi har jobbet frem forsøkene elevene skal gjennom i denne løypa.

Vi har et mål og et ønske om at elevene skal sitte igjen med en bedre forståelse av bølger etter denne dagen på NTNU. Vi håper at de skal kunne se at ulike bølger har mange likheter og at man kan trekke paralleller mellom dem. Likevel er det slik at det også er store forskjeller, som for eksempel hvordan de forplanter seg i medium (og fravær av medium), hastighet eller hvordan amplitude kommer til uttrykk i bølgen.

Vi vil jo selvfølgelig også vise frem hvor fascinerende realfagene er, og håper dere studenter sprer det engasjementet dere har følt for fagområdet til elevene.

Vi vil gjerne rette en takk til **Erik Wessel-Berg** og **Tim Cato Netland** ved Institutt for elektroniske systemer, som har tilrettelagt deler av det faglige innholdet i denne løypa, både med tanke på oppgaver til elevene og utlån av utstyr og lokaler. Også **Omer Babiker** og Institutt for energi- og prosesssteknikk, har bidratt med utvikling av oppgaver og lån av utstyr. Sist, men ikke minst, takk til **Torunn Smevik**, institutt for lærerutdanning, for faglig konsultasjon og idemyldring.

Ingrid Langdal  
Skolelaboratoriet

En stor takk skal også rettes til **Ingrid Langdal**, som har utviklet Bølgeløypa og skrevet veiledningsheftet. Ved siden av jobben som lektor ved Charlottenlund vgs, har hun vært engasjert i en deltidsstilling ved Skolelaboratoriet de siste årene, blant annet for å utvikle Bølgeløypa i tråd med LK20.

Ingeborg Berg  
Prosjektleder for Realfagløypene  
Skolelaboratoriet  
Januar 2025





## Innhold

Vannbølger.....	7
Bølgetank.....	7
Helmholtz hulromsresonans.....	13
Vannbølger – elevhefte.....	17
Lydbølger.....	18
Ekkofritt rom.....	19
Se lyden.....	21
Lydfarten i luft (Kundts rør).....	26
Demonstrasjoner.....	30
Lydbølger – elevhefte.....	33
Elektromagnetiske bølger.....	35
Elektromagnetiske bølger.....	35
Mål lysets hastighet.....	37
Undersøke UV-stråling.....	40
Undersøke egenskaper ved lys.....	43
Ekstraoppgave – IR-stråling.....	49
Undersøk egenskaper ved lys – oppgavehefte.....	51
Undersøke egenskaper til lys (lysboks) – laminerte figurer.....	56
Elektromagnetiske bølger – Elevhefte.....	60
Trådløs kommunikasjon: micro:bit som sender/mottaker.....	62
Demonstrasjoner knyttet til trådløs kommunikasjon.....	64
Micro:bit som sender og mottaker.....	67
Oppgavehefte micro:bit.....	69
Micro:bit som sender og mottaker – Ekstraoppgaver.....	77
Løsningsforslag – trådløs kommunikasjon med micro:bit.....	78
Foucaults pendel.....	83
Referanser.....	85







## Vannbølger

Posten består av to oppgaver:

- Bølgetank – 30 min
  - Demonstrasjon av grunnleggende bølgebegreper. En veileder styrer fremdriften på denne posten, og dere hjelper hen med å styre dataprogrammet, og å veilede elevene med hvor de skal se for å se de ulike fenomenene.  
Dere har to plansjer som hjelp til å forklare interferensmønstre.
- Helmholtz hulromsresonans – 30 min
  - Dere skal undersøke hvordan frekvens og tonehøyde henger sammen med volumet i en flaske, og dette skal kobles til matematisk modellering. Elevene blåser lyd i en flaske og registrerer frekvensen med egen mobil. Utstyret står fremme, Dere har én plansje her, med en teoretisk modell som skal sammenlignes med modellen elevene tegner.

Gruppe 3 og 8 deles i 2, så det blir ca. 9 elever på hver oppgave.

### Bølgetank

#### Bølgetank – teori

Alle bølger er en eller annen form for svingning som flytter på seg, vi sier at den brer seg eller forplanter seg. For noen bølger kan vi se svingningen, for andre ikke. Vi kan sette i gang svingninger på et tau. Da vil hvert punkt på tauet svinge opp og ned, mens bevegelsen forplanter seg bortover tauet. For lyd vil det være molekyler som svinger frem og tilbake, mens lyden brer seg utover i rommet, for elektromagnetiske bølger er det variasjon i det elektromagnetiske feltet. Felles for alle bølgene er at det er energi som forplanter seg.

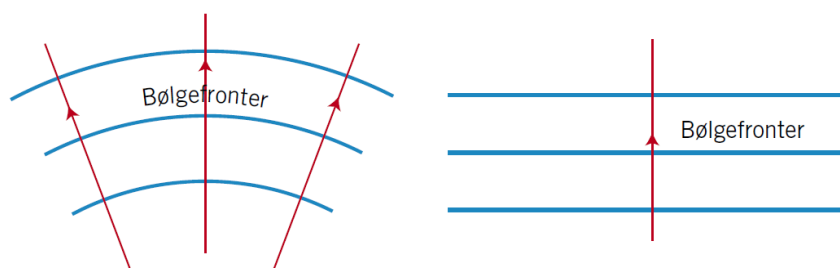
Mange av bølgene vi jobber med kan være vanskelig å se for seg, men de har mange like egenskaper. Derfor kan det være lurt å bruke en havbølge som modell, når vi skal jobbe med begrepene. Vi har alle sett bølger som brer seg i vannet. En måke som sitter på havet blir ikke dyttet mot land av bølgen, den vil svinge opp og ned, mens utslaget, som er energien til bølgen, forplanter seg mot land.

Nettopp fordi havbølger gjør det enklere å visualisere mange av bølgebegrepene og fenomenene, er en av postene lagt til bølgebassenget på Institutt for energi- og prosessteknikk.

I denne posten brukes følgende **begreper** knyttet til bølger.

Begrep	Beskrivelse
Likevekt	Der partikkelen/feltet er når det ikke er en bølge som brer seg
Utslag	Avstand fra likevekt til punktet bølgen befinner seg til en gitt tid.
Amplitude, A	Hvor stort maksimalt utslag bølgen har.
Periode, T	Tiden det tar å gjennomføre en hel svingning, f.eks tiden det tar fra vi har en bølgetopp til vi igjen har en bølgetopp.
Frekvens, f	Hvor mange svingninger bølgen gjør per sekund. Dette har da en sammenheng med perioden: $f = \frac{1}{T}$
Bølgelengde, $\lambda$	Avstand fra bølgetopp til bølgetopp.
Bølgefart, v	Hvor fort bølgen forplanter seg. Dette kan være gitt av vanlig fartsformel $v = \frac{s}{t}$ , men kan også utledes til $v = f \cdot \lambda$ .

Det blir også snakket om **sirkulære bølger** og **planbølger**. Sirkulære bølger brer seg fra en punktkilde utover i alle retninger som en sirkel, mens en planbølge er en rettlinjett bølge. Dette er skissert på figuren under, sirkulær til venstre og planbølge til høyre.



Figur: (Jerstad, et al., 2013)



Vi skal også se på følgende **fenomener** knyttet til en bølge

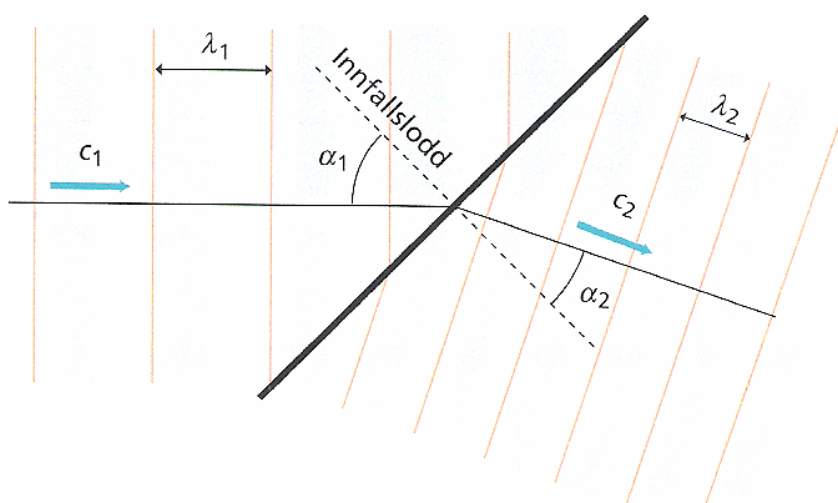
- overlaging
- interferens
- brytning

Når to bølger møtes vil de **overlagre**, i motsetning til biljardkuler som kolliderer og kan skifte både fart og retning. Det vil si at utslaget på et punkt der to bølger møtes vil være summen av utslaget til bølgene hver for seg. Etter dette «møtet» vil bølgene forplante seg videre som om ingen ting har skjedd, altså med samme fart og samme retning.

Hvis vi setter i gang to like, sirkulære bølger som svinger i fase, vil vi få et helt spesielt mønster når bølgene etter hvert møtes. Det oppstår linjer der en bølgetopp vil møte bølgetopp og bølgebunn møter bølgebunn (og alle situasjonene mellom). Bølgen får et maksimalt utslag som er dobbelt så stort som utslaget til hver av bølgene. Imellom disse linjene med maksimalt utslag oppstår det linjer der utslaget til hver av bølgene alltid vil være like stort, men motsatt rettet. Dette gir null utslag. En kork som ligger i vannet langs en slik linje, vil ligge i ro. Undersøker man lydbølger, vil det ikke være noe lyd, og for lys er det ikke noe lys. Imellom disse linjene med null utslag og maksimalt utslag, er det svingninger med gradvis mindre utslag (gradvis mindre lyd og gradvis mindre lys). Dette kalles **interferens**, se figur under oppgave 2 i oppgaveveiledningen. Forsøk med dette gjøres både på vannposten, lydposten og lysposten. Det er fint å påpeke sammenhengen her.

I bølgetanken skal det også demonstreres hva som skjer når en vannbølge kommer inn på et grunt område. Da vil bølgene skifte retning. Dette kan kalles **brytning**. Bølgefarten går ned når bølgen kommer inn på grunnere vann, siden denne farten er avhengig av dybden på vannet. Frekvensen er fortsatt lik, denne ble satt da bølgen ble laget. Når frekvensen er den samme og farten går ned, må også bølgelengden bli mindre ( $v = \lambda \cdot f$ ). Dette kan man tegne opp, og da ser man at for at bølgen skal være sammenhengende, må den skifte retning, siden bølgen forplanter seg kortere på en periode på grunt vann enn på dypt vann. Den bøyes, se figuren under.

Når lysstråler går fra for eksempel luft til vann, vil lyset endre retning. Det svarer til det som skjer når vannbølger går fra dypt til grunt vann.



Figur: (Jerstad, et al., 2013)

## Bølgetank – bruksområde

Bølgetanken på denne posten brukes til å se på bølger med underliggende strømning, siden det er mulig å sette opp en strøm gjennom tanken, og så lage bølger på toppen av den. For eksempel har tanken blitt brukt til å se på hvordan bølger bak skip ser ut når man har en underliggende strømning. Et annet eksempel er hvordan man kan utlede strømningen under overflaten ved å se på hvordan bølgemønsteret endres på overflaten, som følge av strømningen.

Fremover skal tanken brukes til å se på bølger over en bunn med bølgete topografi. Altså se mer på hvordan bunnen kan påvirke bølgene på overflaten.

## Bølgetank – praktiske tips

For noen av oppgavene ved bølgetanken, er det viktig at elevene vet hvor de skal se, for at endringene/fenomenene blir tydelige. Sørg for at du vet hvor det er, slik at du klarer å hjelpe elevene.

Dere skal kjøre programmet som genererer bølgene, så ved beskjed om å «kjøre nummer ##» så skal dere

- Steg 1: Sette en tallverdi (fra 0 til 7) rett etter der det står «switch» og erstatt verdier som står der. Ikke rør resten; husk *ctrl+z* ved uhell.
- Steg 2: Trykk på «Run Section» knappen eller trykk på *ctrl+enter* mens du har markøren der du fyller inn tallene.



The screenshot shows the MATLAB editor with the following code snippet:

```

79 seqDir = {'C:\Users\omemb\Desktop\bølgeløypa\bølgeløypa\matlab code\Run_wavemaker_motors_script.m'};
80
81 % Choose which sequence to run
82 switch 0
83 case 1
84     % Small amplitude sequence
85     % Stroke = 5,
86     seqName = 'Small amplitude';
87 case 2
88     % Large amplitude sequence
89     % Stroke = 12, omega = 2
90     seqName = 'Large amplitude';
91 case 3
92     % Large frequency sequence
93     % Stroke = 5, omega = 3.3
94     seqName = 'Large frequency';
95 case 4
96     % Small frequency sequence
97     % Stroke = 10, omega = 1.9
98     seqName = 'Small frequency';
99 case 5
100    % Run the motors out of phase for destructive interference
101    % Stroke = 6, omega = 3

```

The Command Window output is as follows:

```

New to MATLAB? See resources for Getting Started.
Entering active grid control protocol...
To stop operation, press STOP GRID button in Figure 1

End of routine
Homing...
COMPLETE!
Commencing operation
START TIME : 16:10:35.942

```

## Bølgetank – oppgaveveiledning

(9 elever, 30 min)

### Oppgave 1

I første oppgave settes det i gang en sirkulær bølge. To sentrale størrelser for bølgen endres, og elevene skal se hva som skjer med bølgen når

- 1) **Amplituden** endres
- 2) **Frekvensen** endres

Når frekvensen ble endret, ble også bølgelengden endret. Ble bølgelengden kortere eller lengre når frekvensen *økte*?

### Oppgave 2

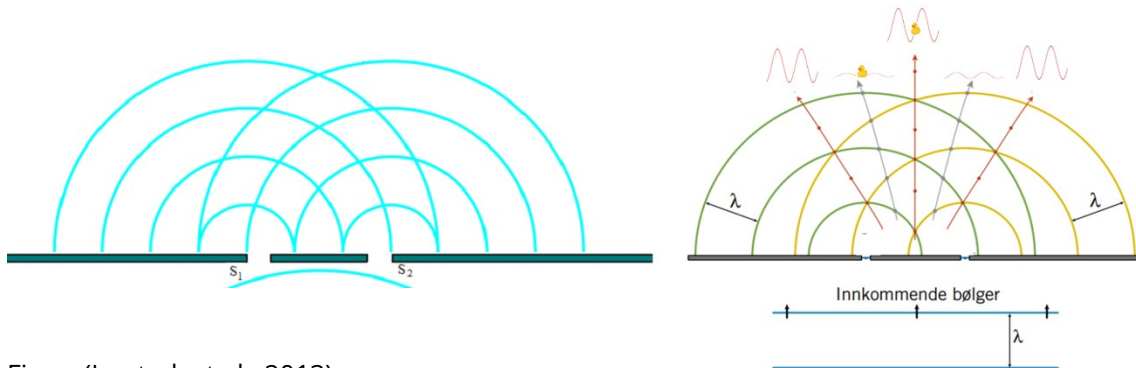
Nå blir det satt i gang to sirkulære bølger samtidig.

- Få elevene til å beskrive det de ser, dette interferensmønsteret med områder med store svingninger og områder der bølgen ligger i ro.



Figuren under har dere tilgjengelig slik at dere kan bruke den med elevene. Her vises bølgene ovenfra. Åpningene tilsvarer klossene som lager bølgene, og hver linje tilsvarer en bølgetopp. Bruk de blå linjene til å tegne kryss der det blir et maksimalt utslag, altså at bølgetopp møter bølgetopp.

- Kan elevene finne linjer der en vannbølge vil svinge med maksutslag?
- Mellom disse vil det være linjer der bølgen ikke svinger, vis elevene på plansjene.



Figur: (Jerstad, et al., 2013)

- Hva skjer i bølgekaret en stund etter at de to sirkulære bølgene ble satt i gang?  
Hvorfor?

### Oppgave 3

Det legges nå en plate ned i vannet, slik at hva som skjer med en bølge når den går fra dypere vann og over i et område med grunnere vann kan undersøkes.

- Hva skjer med bølgen i det den kommer inn over grunnere vann?

### Oppgave 4

Bruk til slutt en lang planke til å sette i gang en planbølge.

- Hvordan ser denne ut i bølgefronten i forhold til en sirkulær bølge?
- Hva slags form får bølgen som dannes hvis man putter en finger i vannet?



## Helmholtz hulromsresonans

### Helmholtz hulromsresonans – teori<sup>1</sup>

Når man slår på en streng eller blåser på et blåseinstrument, kan man ikke sette i gang hvilke som helst frekvenser, men bare toner som passer til lengden av strengen eller blåseinstrumentet. Dette kalles resonans. Instrumenter kan lage en hel rekke toner, mens i dette eksperimentet skal vi bruke flasker. Disse flaskene blir en slags helmholtzresonator, og kan kun lage én tone.

Frekvensen på tonen vi får ut av flasken vil være avhengig av flere ting, blant annet volumet i flasken og åpningsarealet til flasken. I dette forsøket holdes åpningsarealet konstant. Vi skal endre volumet ved å endre vannmengde i flasken og deretter høre på tonene som dannes.

Frekvensen på tonene som dannes kan finnes ved følgende formel

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{L_{eq}} \cdot \frac{1}{V_0}}$$

der  $v$  er lydfarten i luft (340 m/s),  $A$  er arealet til flaskeåpningen,  $L_{eq}$  er en konstant knyttet til lengden og volum på flaskehalsen og  $V_0$  er volumet av flasken i  $m^3$ . Det er da  $V_0$  som endres.

$L_{eq}$  finner vi på følgende måte

$$L_{eq} = L_n + 0.3 D$$

$L_n$  er lengden på flaskehalsen og  $D$  er diameter på flaskeåpningen.

Ved å gjøre nødvendige målinger og tilnærminger på flasken, finner vi et uttrykk for frekvensen til tonene som lages når man blåser i flasken som funksjon av volum.

For flaskene brukt i dette forsøket (0,9 l saftflasker) er diameteren på åpningen,  $D$ , lik 2,1 cm og lengden på halsen,  $L_n$ , 3 cm. Dette gir følgende formel

$$f = 5,3 \cdot \sqrt{\frac{1}{V_0}} = 5,3 \cdot V_0^{-0,5}$$

---

<sup>1</sup> (Wikipedia - Helmholtz resonance, 2023)



## Helmholtz hulromsresonans – oppgaveveiledning

(3 + 3 + 3 elever, 30 min)

Elevene skal bruke en saftflaske som en Helmholtzresonator og registrere tonen/frekvensen. En på gruppa skal blåse på flasken og få frem en tone, mens de andre registrerer frekvensen og plotter verdiene i elevheftet.

Til slutt skal flasken vaskes godt rundt åpningen med en desinfiseringsserviett.

### Oppgave 1

Elevene skal blåse i flasken og høre på lyden og observere hvordan denne endrer seg med ulik vannmengde i flasken.

- 1) Blås først i den tomme flasken og hør på lyden.
- 2) Ha litt vann på flasken og blås på nytt.
  - Hva tror de skjer med lyden nå?

### Oppgave 2

I oppgaven over hørte elevene at tonen fra flasken er avhengig av luftvolumet i flasken. Nå skal sammenhengen mellom **volumet av luft** i flasken og tonehøyde, altså **frekvens**, undersøkes. Elevene bruker en app på telefonen til å registrere tonen.

- 1) Elevene skal fylle flasken med vann opp til halsen. Deretter heller de ut 1 dl vann fra flasken og blåser slik at de får en tone (det blir lettere å lage tone jo mindre vann det er i flasken, så hvis det ikke blir lyd, kan de helle ut 1 dl til).
- 2) Registrer frekvensen til lydsignalet med en frekvensmåler (en app på telefonen til en elev). Noter ned frekvensen i tabellen i elevheftet.
- 3) Deretter heller de ut 1 dl vann og registrerer ny frekvens.
- 4) Dette gjentas til flasken er tom.

Volumet på luftrommet som lager tonen, vil hele tiden tilsvare mengden vann som er helt ut.

- 5) Når de har fylt ut hele tabellen, skal de bruke koordinatsystemet i elevheftet til å plote frekvensen som funksjon av luftvolum i flasken.

En teoretisk modell for sammenhengen mellom tonens frekvens og flaskens volum ( $m^3$ ) for flaskene de har blåst i er



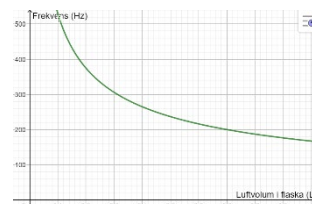


$$f = 5,3 \cdot V_0^{-0,5}$$

Med liter som mål på volum i stedet for kubikkmeter, blir dette

$$f = 167,6 \cdot V_0^{-0,5}$$

Denne funksjonen er plottet i figuren til høyre, som også ligger i laminert utgave på posten. Denne skal elevene få på slutten for å sammenligne sine resultater med teorien.



- Elevene kan undersøke form, og kontrollere noen utvalgte verdier på modellen.

## Ekstra – to morsomme modeller

På rommet med Helmholtz hulromsresonans, står det to modeller. Disse er ikke knyttet til bølger, men dere kan bruke dem hvis dere får god tid.

### «The greedy cup»

Denne koppen kalles også Pythagoras kopp, og den er slik at hvis man kun fyller opp med væske til et visst punkt, vil væsken bli værende i koppen. Fyller man derimot akkurat forbi dette punktet, så vil hele koppens innhold renne ut gjennom bunnen, derfor «greedy cup».

På figuren under vises prinsippet. Man kan fylle koppen uten at væsken renner ut så lenge man holder seg under kanten i midten av koppen (B). Skulle man derimot helle mer slik at væsken renner over denne kanten, vil all væsken i koppen renne ut. Dette er fordi det ellers ville ha oppstått et undertrykk «bak» den væsken som har rent ut, og det fører til at resten av væsken trekkes opp (D), se illustrasjonen under. (Dette er ikke den hele og fulle sannhet, da dette også fungerer i vakuum). Det samme prinsippet gjelder for en hevert. <sup>2</sup>

<sup>2</sup> (Wikipedia - Pythagorean cup, 2023)

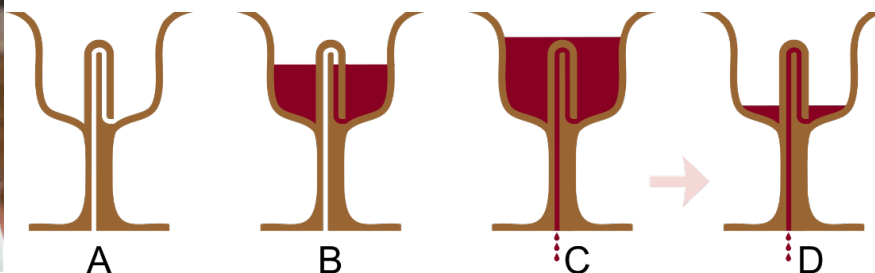


Foto: M Todorovic/Wikimedia (til venstre) og Nevit Dilmen/Wikimedia

### *Flytende perler*

Modellen starter med å se ut som flasken helt til høyre på bildet under. Rist på den, slik at den ser ut som flasken til venstre.

- Hva kommer til å skje?
- La elevene komme med forslag til hvorfor det skjer, det de ser.

Dette er en flaske med 2 væsker med ulik tetthet som ikke blander seg, og to type perler med ulik tetthet. Tettheten er som følger, fra høyest til lavest

- 1) Væske nr 1
- 2) Blå perler
- 3) Hvite perler
- 4) Væske nr 2

Når man rister flasken, vil de to væskene blande seg, og tettheten til denne blandingen ligger mellom de hvite og de blå perlene. Derfor vil det først se ut som bildet i midten etter at man har ristet. Men så vil væsken igjen skille seg, og da går perlene tilbake til utgangspunktet.





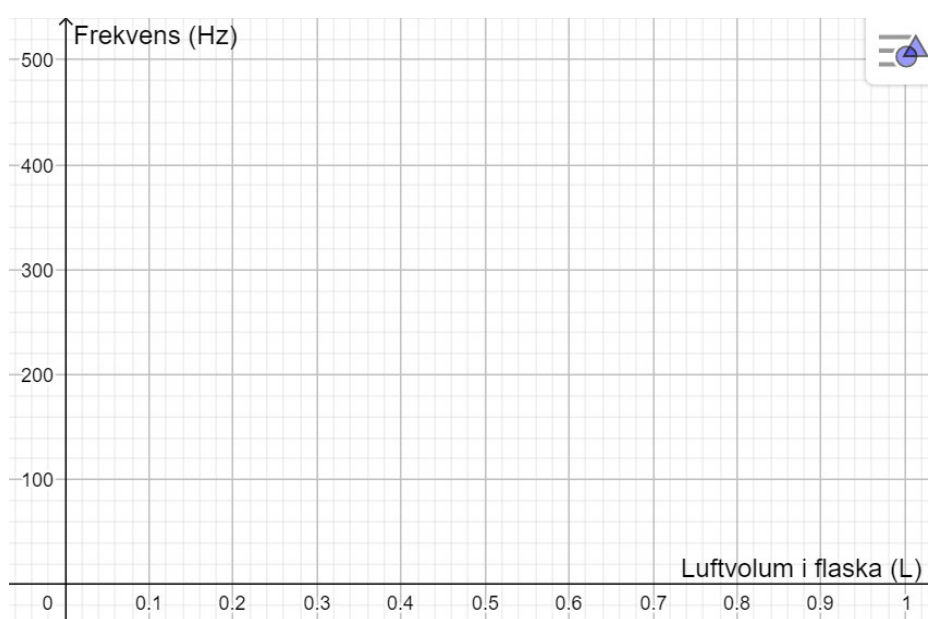
## Vannbølger – elevhefte

### Helmholtz hulromsresonans

Vi skal i dette forsøket bruke en saftflaske som en Helmholtzresonator. Det vil si at vi får en bestemt tone avhengig av luftvolumet i beholderen. Sammenhengen mellom **volumet av luft** i flasken og tonehøyde, altså **frekvens**, skal undersøkes.

Luftvolum i flasken (L)	Frekvens (Hz)
0,1	
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	

Bruk tabellen og tegn inn punktene i grafvinduet under. Sammenlign grafen deres med hvordan det er forventet å se ut (dere får graf fra studentene).





## Lydbølger

Posten består av tre oppgaver og fire ekstra demonstrasjoner:

- Ekkofritt rom – 20 min
  - Her får dere oppleve fravær av refleksjon for lydbølger. I tillegg er det et oppsett med to høyttalere, slik at elevene kan høre interferens med lyd.  
Dere har en plansje med interferensmønster her. Pek gjerne på koblingen til interferens i bølgetanken og interferens med laserlys.
  - Besøk også gjerne klangrommet etter ekkofritt rom, innenfor de oppsatte 20 minuttene.
- Se lyden – 20 min
  - På oscilloskopet blir det demonstrert at lyd er bølger, og elevene kan undersøke hvordan ulike bølgebegreper kommer til uttrykk for lyd.
  - Stor stemmegaffel i vann som demonstrasjon på lydbølger.
- Lydfarten i luft (Kundts rør) – 20 min
  - Her skal dere se at lydbølgene forplanter seg i rommet, og bruke den visuelle representasjonen til å regne ut lydfarten i luft. Her er det en kobling til posten om elektromagnetiske bølger, der elevene beregner lysfarten på samme måte.
- Demonstrasjoner – ekstra hvis det er tid
  - Fra lys til lyd – en demonstrasjon på at laserlys kan sende et signal. Det er ekstra viktig at dere får gått innom denne demonstrasjonen, og refererer til posten om trådløs kommunikasjon.
  - Vekkerklokke i vakuum
  - Trappetroll

**Lyd** er en bølge som forplanter seg. Når vi snakker, vibrerer stemmebåndet vårt. Denne vibrasjonen gjør at det settes i gang vibrasjoner i luftmolekylene rundt, som i sin tur påvirker de nærliggende luftmolekylene. Luftmolekylene svinger frem og tilbake, og denne svingningen forplanter seg utover i rommet. Den kan for eksempel nå øret ditt, og da settes trommehinnen din i bevegelse. Trommehinnen vibrerer i takt med lydbølgen, og måten trommehinnen vibrerer på sendes videre innover i øret og oversettes til et signal som når hjernen, som i sin tur tolker dette signalet for oss. Da kan vi forstå hva som ble sagt, eller høre den vakre musikken.



## Ekkofritt rom

### Ekkofritt rom – teori

Lyd har mange av de samme egenskapene som andre bølger, og i det **ekkofrie rommet** skal vi se på noen bølgefenomener for lyd. Rommet er laget slik at nesten all lyd absorberes når det treffer veggen. Dette skjer vha de pyramideformede klossene som er festet på veggen. Jo høyere disse klossene/konene er, desto større bølgelengde for lyd kan absorberes. Når vi skal høre lyd fra en lydkilde som sender ut lyden vekk fra oss, er vi avhengig av at lyden reflekteres fra gjenstander rundt. Lyd vil stort sett reflekteres der vi befinner oss, så vi tenker ikke så mye over det i hverdagen. I dette ekkofrie rommet vil derimot mye av lyden absorberes i veggen i stedet for å reflekteres mot oss. Det vil derfor være stor forskjell på lyden som blir sendt mot oss og sendt fra oss i det ekkofrie rommet.

Slike rom kan f.eks. brukes til å gjøre målinger på mikrofoner og høyttalere. En kan f.eks. måle i hvilke retninger lyden stråler ut fra en høyttaler.

Den ekkofrie laben er bygd som et rom i rom, dvs. at rommet ikke henger sammen med bygget rundt. Dere kan se at det er to dører inn, med luft imellom. Dette er nødvendig for å unngå forstyrrelser når man gjør målinger. Kabler som går inn og ut av rommet, ligger også skilt fra hverandre, så signalene ikke skal bli forstyrret.

Det koster ca. 8–10 millioner å bygge et slikt rom (grovt overslag). Denne laben ble pusset opp for noen år siden for ca. 3 millioner, men da var selve rom i rom-konstruksjonen allerede på plass.

### Ekkofritt rom – oppgaveveiledning

(20 min, 6 elever)

#### *Oppgave 1*

Det er viktig å sette av litt tid til å bare være helt stille i dette rommet, og kjenne på den merkelige følelsen av stillhet. Vi er så vant til støyen som omgir oss, at vi egentlig ikke kjenner til stillhet.

- 1) Utfordre elevene til å være helt stille en stund. Det er viktig at øret får tid til å venne seg til omgivelsene.
  - Hvilke lyder hører de når all annen lyd blir fjernet?



Her vil vi kunne høre lyder som vi aldri kan ellers på grunn av støy rundt oss.

Hvis vi er her inne lenge kan vi høre lyder kroppen lager: Blodet som bruser i årene, hjerteslag, lyder fra magen o.l. Dette krever imidlertid gjerne lengre tid enn dere har til rådighet.

Etter en stund kan dere gå videre til de andre undersøkelsene elevene skal gjøre her.

### Oppgave 2

- 2) Nå skal en av elevene stå i rommet og lage en jevn lydstrøm. Først står hen vendt mot de andre elevene, deretter snur hen seg vekk mens hen fortsetter å lage lyd.
  - Forventer de at de hører lyden når eleven står med ryggen til?
  - Hva hører de? Reflekter over hvordan og hvorfor lyden endres.

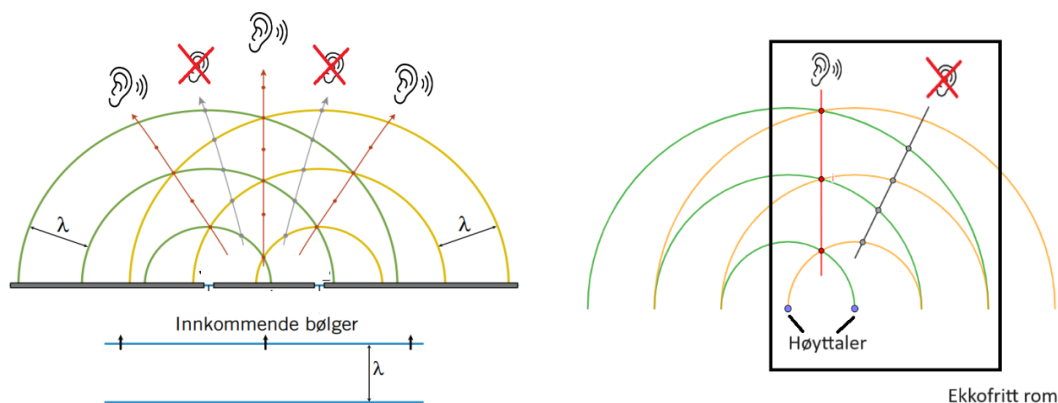
### Oppgave 3

Ved å sette opp to høyttalere som sender ut lyd i fase med samme frekvens, vil vi også kunne høre at lyden **overlagrer**, som demonstrert for vann i bølgetanken på Vannbølgeposten. Det vil være områder i rommet med høy lyd og områder med lav lyd (lydstyrke er bestemt av amplitude, se oppgaven under – *Se lyden*). I det ekkofrie rommet skal det altså være mulig å høre interferensmønsteret som oppstår når to bølger sendes ut i fase.

Oppsettet for interferens med lyd står i rommet, skru på begge høyttalerne. Da vil lydbølgene fra hver av høyttalerne overlage/interferere og vi får områder i rommet med mere lyd og områder med mindre lyd.

- 3) La elevene gå rundt i rommet og merke seg områder med mer og områder med mindre lyd.
- 4) La elevene gå rolig på tvers av de to høyttalerne.
  - Kan de høre variasjon i lydstyrken etter hvert som de flytter seg bortover?
  - Hvorfor er det slik at det er områder med mere og områder med mindre lyd?

Her ligger også et ark med oversikten over hvordan interferensmønsteret kan tolkes for lyd, og hvordan det blir i dette ekkofrie rommet.



## Klangrom

Dere kan også besøke klangrommet innenfor de oppsatte 20 minuttene for denne delen av lydposten. Dette er et rom med glatte vegger slik at lyden reflekteres frem og tilbake og holder seg lenge, ofte flere sekunder. Det er derfor lett å lage mye bråk i slike rom. Prøv for eksempel å klappe en enkelt gang her inne.

Klangrom brukes bl.a. til å finne ut hvordan forskjellige materialer demper og fanger opp lyd. For at vi ikke skal høre hva naboen snakker om eller bli forstyrret av stereo-anlegget hans, er det viktig at vi lydisolerer rom. I et klangrom kan vi bl.a. finne ut hvilke materialer det er lurt å legge inn i veggene for at vi ikke skal bli forstyrret. Et klangrom kan også brukes til å måle støynivå fra ventilasjonsanlegg og andre maskiner.

## Se lyden

### Se lyden – teori

Her skal vi bruke et **oscilloskop** til å se og undersøke lydbølger. En mikrofon fanger opp en lydbølge, og lydbølgen oversettes til et elektrisk signal. Det er slik alle mikrofoner fungerer. Oscilloskopet plottes det elektriske signalet, og dette kan vi bruke til å undersøke lydbølgen og lydbølgens egenskaper. Høy lyd vil ha stor amplitude, og en kraftig vibrasjon tolkes dermed deretter. En lys lyd (lys tone) vil ha høy frekvens, og en rask vibrasjon tolkes dermed deretter. Ulike fonetiske lyder, som s og f, vil også ha ulike måter å vibrere på, og det er stor forskjell på konsonanter og vokaler.

Vi holder oss til de to første påstandene i denne posten, og skal se at lydstyrken henger sammen med amplituden og at tonen henger sammen med frekvensen. Målt frekvensen skal kontrolleres opp mot en stemmegaffel



med kjent frekvens. Til slutt kan vi se at stemmen vår er litt mer sammensatt og inneholder mer informasjon enn en klar tone fra en stemmegaffel.

Sammenhengen mellom frekvens og periode er gitt ved  $f = 1/T$ .

På denne posten finnes det også en signalgenerator. Her kan vi justere frekvensen, samtidig som vi hører lyden. Dette kan selvfølgelig også brukes til beregninger. Om dere synes det er enklest å se på beregningene i elevoppgaven med signalgeneratoren eller stemmegaffer velger dere selv.

Minner om at her er utslaget til lydbølgen plottet, noe som gjør at *det ser ut som* en tversbølge, men at lydbølger er langsølger (utslaget er langs med bevegelsesretningen).

## Se lyden – praktiske tips

### Oscilloskopet

Oscilloskopet kan stå på under hele løypa, men dere bytter mellom å hente inn signal fra signalgeneratoren og mikrofonen. Under følger en beskrivelse av knappene med bilde på neste side, og noen viktig tips.

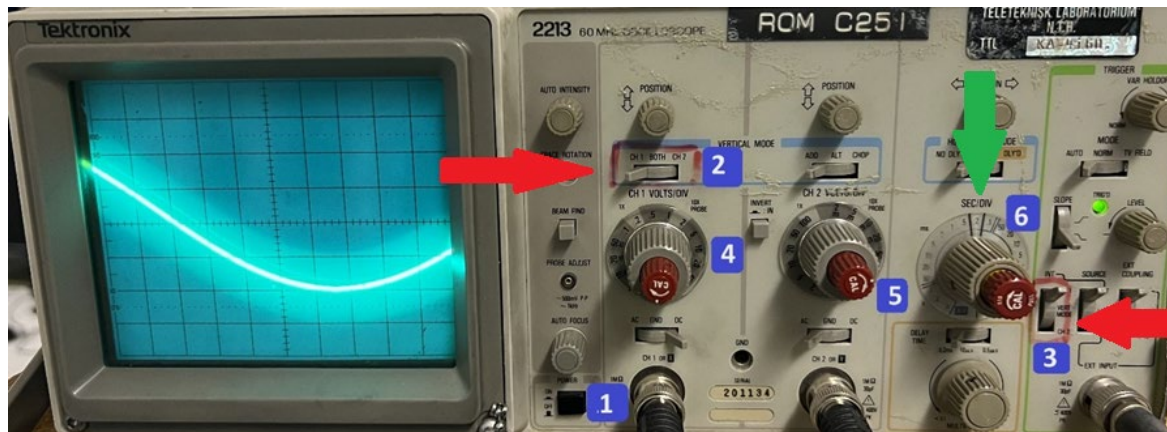
Det er knappene ved 2 og 3 (rød pil) dere bruker for å endre mellom

- signalgenerator – begge knappene med rød tusj rundt, på **CH1** og
- mikrofon – begge knappene med rød tusj rundt, på **CH2**.

Ellers er knappene som følger, men disse trenger dere i utgangspunktet ikke å stille på.

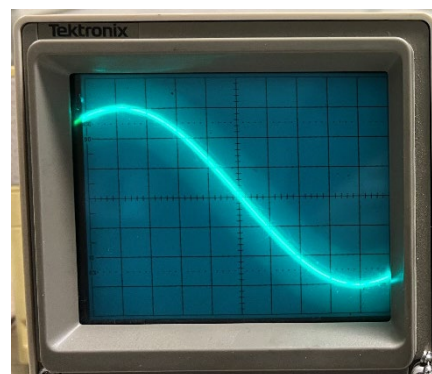
- 1) Power, skrur av og på oscilloskopet (men det kan stå på hele tiden)
- 2) Velger mellom kanal 1 (signalgenerator) og kanal 2 (mikrofon)
- 3) Hvilken kanal oscilloskopet skal trigge på. Velg samme kanal som i 2)
- 4) Skalering av Y-akse for kanal 1 (signalgenerator)
- 5) Skalering av Y-akse for kanal 2 (mikrofon)
- 6) Skalering av X-akse. **La den gjerne stå fast på 0,2 ms**, det er viktig at dere har kontroll på denne når elevene skal lese av perioden og regne ut frekvensen.





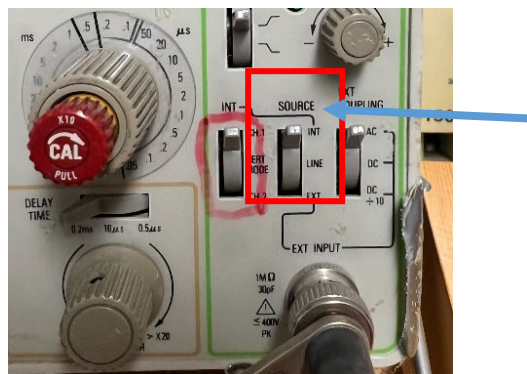
De to røde pilene på dette bildet, viser hvorvidt oscilloskopet plottes signalet fra signalgeneratoren (CH1) eller mikrofonen (CH2). Den grønne pilen viser hjulet som bestemmer hvor mange millisekund en rute svarer. Denne kan stå på 0,2 ms.

For å **lese av perioden** teller man ruter på skjermen. Hver rute tilsvarer 0,2 ms, gitt at det hjulet ved 6) (grønn pil) har to svarte streker rundt 0,2. Denne kan skrues på for å tilpasse bølgen som undersøkes, men vær bevisst denne verdien og sett den tilbake til 0,2 før du går. På bildet til høyre ser vi at det er i underkant av 8 ruter fra bølgetopp til - bunn, og frekvensen blir som følger



$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} s} \approx 312,5 \text{ Hz}$$

Det er kun knappene ved 2, 3 og 6 som i utgangspunktet brukes, men hvis noen vært uheldig og kommet bort i knappen til høyre for høyre rød firkant, merk at «source» skal stå på «int». Se bildet under.



Ved feiljustering, kontroller at source står på int. Denne knappen ser du på bildet over.



## Signalgeneratoren

Signalgeneratoren kan også stå på gjennom hele løypa, men under finner dere en oversikt over knappene. Dere kan bruke 4 og 5 til å variere lydstyrken og frekvensen, og se hvordan dette gir utslag på oscilloskopet.



- 1) Slå av og på med POWER
- 2) Velg SINUS-bølge
- 3) Velg område 10 k
- 4) Varier frekvensen med FREQUENCY. Frekvensområdet 10k varierer mellom ca 200 Hz og 50 kHz.
- 5) Varier signalstyrken med AMPL

## Se lyden – oppgaveveiledning

(20 min, 6 elever)

### Oppgave 1

Se at lyd er en bølge

- 1) Slå på stemmegaffelen, og hold mikrofonen inni boksen til stemmegaffelen. Se på signalet på skjermen.
  - Ser du at lyd er en bølge?

### Oppgave 2

Se at amplituden bestemmer lydstyrken

- 2) Slå på stemmegaffelen en gang til og følg med på amplituden.
  - Hva skjer med amplituden etter hvert som tiden går? Hvordan varierer amplituden med lyden du hører?
  - Hvilket begrep for lyd er amplitude et mål på?



### Oppgave 3

Se at periode/frekvens bestemmer tonehøyden.

- 3) Slå nå på en stemmegaffel og undersøk perioden.  
Fyll inn for tone 1 i elevheftet, og beregn frekvensen. **Her er det viktig at du følger med på skalering på x-aksen, denne kan gjerne stå på 0,2 ms.** Sammenlign med det som står på stemmegaffelen.
- 4) Slå på en annen stemmegaffel, og sammenlign perioden til den nye tonen med perioden til den forrige.
  - Hva ser du? Hva hører du? Hvordan varierer perioden med hvor lys tone du hører?
  - Hvilket begrep for lyd er periode og frekvens et mål på?
- 5) Fyll ut for tone 2 i tabellen i elevheftet.

Her er det mulig å gjenta for flere stemmegafler.

### Oppgave 4

Se hvordan lyden fra mer «sammensatte» signaler ser ut

- 6) Snakk inn i mikrofonen, og se hvordan stemmesignalet ser ut
  - Hva er forskjellen mellom din stemme og stemmegaflene?
  - Klarer du å synge en ren tone? Hva med å plystre en tone?

### Se lyden – ekstraoppgave

Har dere god tid, går det an å skru på tonegeneratoren og ta en hørselstest.

- 7) Juster gradvis opp frekvensen og test hvor lenge man klarer å høre tonen.

Når man blir eldre, vil man gradvis miste evnen til å høre de høyeste frekvensene. Hørsel kan også ta skade av høye, skarpe lyder og vedvarende høy lyd.

### Stor stemmegaffel – demonstrasjon

Lyd er vibrasjoner som brer seg i et medium. En stemmegaffel vibrerer med en bestemt frekvens, får molekylene i for eksempel luft til å vibrere og denne vibrasjonen forplanter seg – en bølge. Dette kan demonstreres ved en kjempestemmegaffel. Slå lett på den så den begynner å vibrere, og putt den ned i et kar med vann. Da ser dere at den skaper bølger i vannet. Den gjorde

det med partiklene i luften også, vi kunne bare ikke se det. Frekvensen den svinger med ligger rett under den laveste frekvensen vi kan høre.

## To stemmegaffer – demonstrasjon

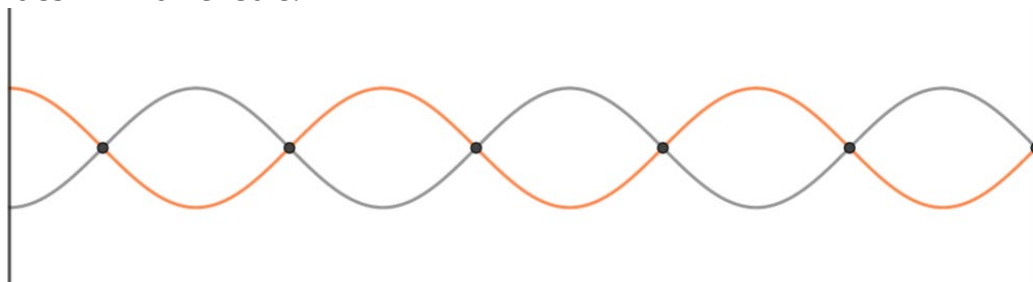
Hvis man har to stemmegaffer med samme frekvens ved siden av hverandre, vil den ene begynne å svinge hvis den andre svinger. Slå på den ene stemmegaffelen, stopp den, og hør at den andre stemmegaffelen nå lager en svak tone. Dette kommer av resonans, stemmegaffelen påvirkes av en svingning med samme frekvens som stemmegaffelens egenfrekvens. Det vil ikke fungere hvis det står en stemmegaffel med en annen frekvens der.

## Lydfarten i luft (Kundts rør)

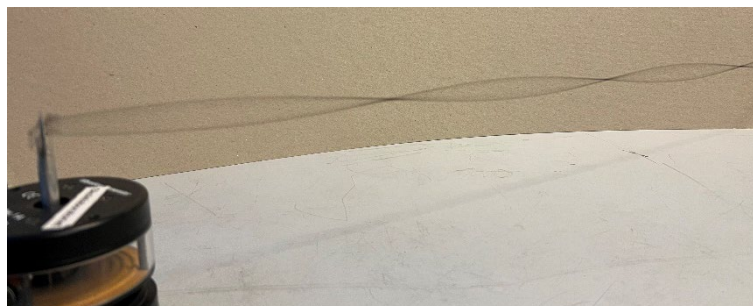
### Lydfarten i luft - teori

I **Kundts rør** brukes lyd fra en høyttaler til å lage en stående bølge i røret. Vi skal bruke to rør, en kort målesylinder og et lengre plastrør med justerbar lengde. Man kan høre når man får en stående bølge i røret, for da forsterkes lyden, men her skal vi fokusere på det vi ser.

En stående bølge dannes ved at en bølge reflekteres på en slik måte at to like bølger beveger seg mot hverandre og overlager. Da får vi områder med mye utslag og områder med null utslag, en node. Se figuren under, lydsignalet sendes inn fra venstre.



For å demonstrere stående bølger kan vi bruke en vibrasjonsgenerator til å lage en stående bølge på en strikk. Dette kan gjøres først, for å gi elevene en bedre forståelse av hva de ser på når de etterpå skal bruke lyd. Her ser man at strikken svinger opp og ned, med maks utslag og områder som står helt i ro.



Vi bruker en høyttaler til å sende ut lydbølger, og lydbølgene får molekylene i lufta til å vibrere. Når vi sender lyden inn i et rør med små, lette isoporkuler, kan denne lydbølgen bli synlig. Når vi har en stående lydbølge, får vi områder der det er mye bevegelse i lufta og områder med lite bevegelse i lufta. De små isoporkulene vil samles og reise seg der det er mye bevegelse.

Bølgelengden kan da måles (avstand mellom to områder med vibrasjoner er en halv bølgelengde) og siden frekvensen er kjent, kan lydfarten i luft beregnes ved bølgeformelen

$$v = f \cdot \lambda$$

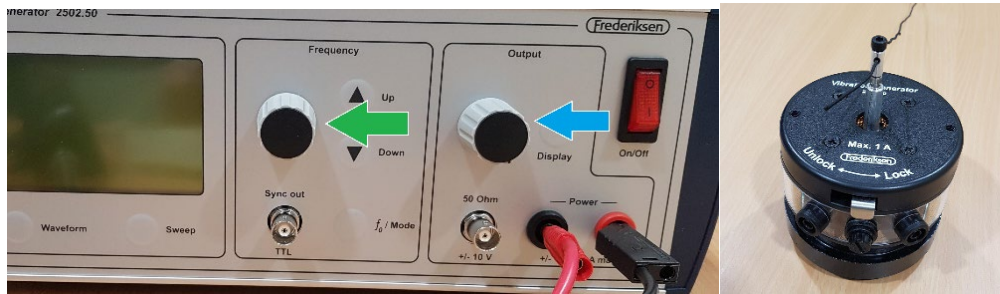
der  $v$  er lydfarten i luft,  $f$  er frekvens og  $\lambda$  er bølgelengden.

### Lydfart i luft – praktiske tips

På bildet under ser dere frekvensgeneratoren som skal kobles til høyttaler for å få lyd til Kundts rør og til vibrasjonsgeneratoren for å få stående bølge på tråd. Man kobler til høyttaler og vibrasjonsgeneratoren ved to ledninger der det står power. Frekvensen justeres med hjulet ved grønn pil, amplituden justeres ved blå bil, der det står «output». Amplituden skal stå på maks når dere bruker høyttaleren.

Ved bruk av vibrasjonsgenerator, kontroller at den står på «unlock».

Det er selvfølgelig stor forskjell i hvilket frekvensområde vi bruker på de to, så når vi begynner må vi til relativt lave frekvenser (for eksempel rundt 40 Hz) for at vi skal kunne få en synlig bølge på strikken. For å få hørbar lyd derimot må vi til mellom 20 og 20 000 Hz. De frekvensene som gir synlig utslag på isoporkulene, ligger mellom 600 og 1500 Hz. La elevene skru, men de skrur sakte, så få dem til å skru litt fortere.



## Lydfart i luft – oppgaveveiledning

(20 min, 6 elever)

### Oppgave 1

- 1) Koble signalgeneratoren til vibrasjonsgeneratoren (med strikk), og skru på slik at dere får frem bølger på strikken.

Lave frekvenser gir stående bølge med få noder. Skru dere opp frekvensen ser dere at dere får flere og flere noder og maksutslag, eller “plass til flere bølgelengder” langs tråden. Øker frekvensen er bølgelengden kortere, dette stemmer med bølgeformelen.

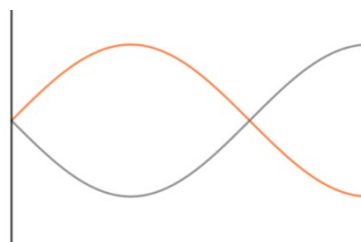
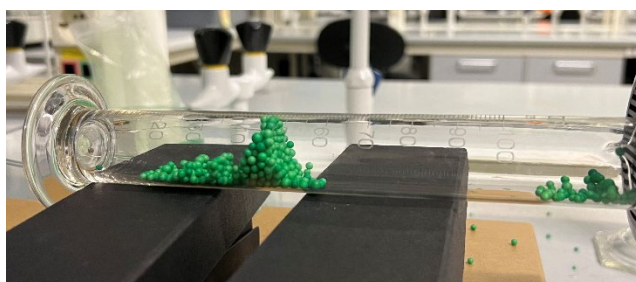
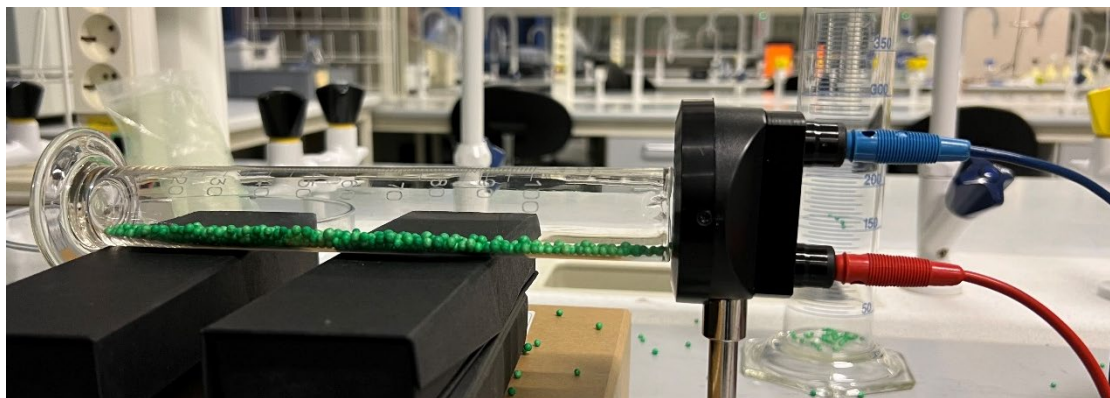
- 2) Avstanden mellom to noder er en halv bølgelengde. Få elevene til å merke seg hva som er en hel bølgelengde, en halv og en kvart bølgelengde. Dette er viktig for forståelse for regneoppgaven i neste oppgave.

### Oppgave 2

**Obs!** Her skal alle i rommet ha på seg øreklokker, lyden fra høyttaleren blir plagsom. Husk også å lukke døra etter dere.

- 3) Start med målesylindren og la elevene helle isoporkulene i røret så de ligger som en stripe i bunn (røret skal ligge så kulene ligger langs hele bunnen, se bildet under).
- 4) Plasser røret i stativet, og koble til høyttaler i stedet for vibrasjonsgeneratoren i forrige oppgave. Sett den inntil rørets åpning og skru på. La elevene øke frekvensen (mye i starten, opp til ca 500 Hz). Øk deretter gradvis til de ser at noe skjer.

Ved omtrent 1000 – 1200 Hz skal kulene reise seg og forme 1,5 bølgelengde inne i røret, se bilde. (1000 og 1800 Hz for målesylinder.)



Avstanden fra veggen til der kulene reiser seg (burde ligge mellom 6 – 9 cm) tilsvarer nå en kvart bølgelengde, men vi gjør beregningene på det neste røret.

### Oppgave 3

- 5) Elevene skal nå ha isoporkuler i det lange plastrøret på samme måte som målesylindren, og også sette opp utstyret på samme måte.

Med et lengre rør blir det plass til flere bølgelengder ved samme frekvens, og det blir enklere å måle lydets bølgelengde. Igjen starter de på frekvenser på noen hundre Hz, og øker gradvis. Det kommer noen vibrasjoner på rundt 6 – 800 Hz, men det blir tydeligere på omkring 1000 – 1200 Hz. Hvis røret er helt trukket ut skal 1200 Hz gi godt utslag.

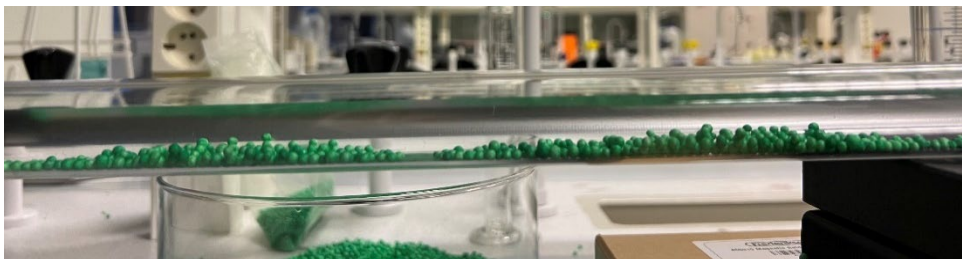
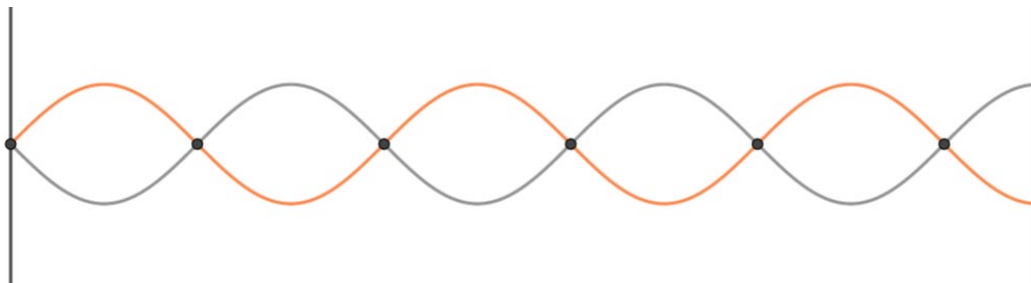
- 6) La elevene skru litt opp og ned, til de finner det beste utslaget. På dette utslaget måler de avstanden mellom to områder med mye vibrasjon. Denne avstanden tilsvarer en halv bølgelengde.

Hjelp elevene med å se koblingen til tråden. Frekvensen leses av på boksen, og dermed kan de regne ut lydfarten i luft, som er omtrent 340 m/s. Husk at de har lest av en halv bølgelengde.

Resultatene burde være innenfor 8 % avvik, altså mellom 310 og 360 m/s.



Merk! Bølgelengden er avstanden mellom de større områdene der kulene rører seg. De små stripene som dannes er andre effekter som ikke er knyttet til lyd hastigheten.



## Demonstrasjoner

(Mellom stasjonene, 6 elever)

### Fra lys til lyd

Dette oppsettet er her av praktiske årsaker. Demonstrasjonen er likevel relevant til lydposten, for vi sender et lydssignal og hører musikk, men den er mer relevant for post 3, lys, og særlig post 4, trådløs kommunikasjon. På lysposten er det snakk om totalrefleksjon og grensevinkel, og optisk fiber benytter seg av dette. Lyssignalet går i en lang optisk fiber. På post 4 og trådløs kommunikasjon er det flere demonstrasjoner som skal vise trådløs overføring, men de er forenklinger. Denne demonstrasjonen er god fordi her



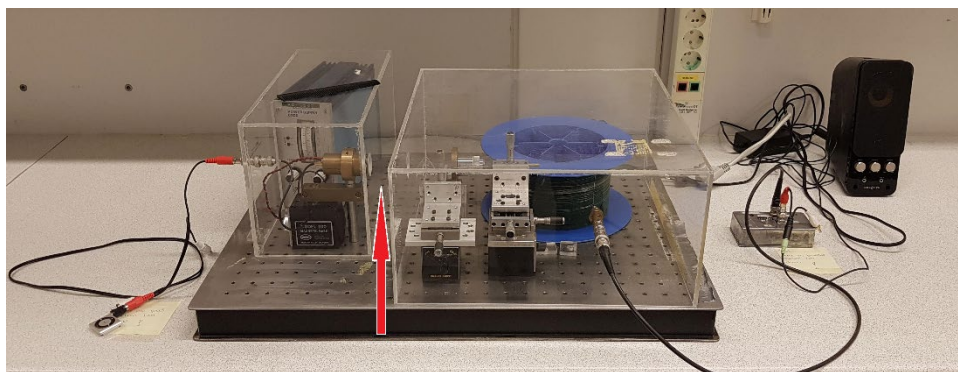


overfører faktisk lyset all informasjonen i sangen, altså trådløse overføring av et signal ved hjelp av lys, eller trådløs kommunikasjon med elektromagnetisk bølge. Det røde lyset er en bærebølge, med en kjent frekvens. Så kan dette røde lyset endres, og denne endringen registrerer mottakeren som signalet for musikken.

Sett på en valgfri låt, og koble til spilleren. Høytteren spiller av musikken. Vis frem hvor ledningene går, at signalet er elektrisk, overføres til laseren som sender ut lys, først i luft og så gjennom en lang optisk fiber. En sensor registrerer lyssignalet, som igjen gjør om signalet til et elektrisk signal og sender det til en høytaler som spiller av musikken (høytteren lager en vibrasjon som forplanter seg i lufta og til trommehinnen i øret).

- 1) Skru på musikken, og så kan en elev komme frem å bryte lysstrålen. Hva skjer?
- 2) Hva skjer hvis man kun delvis bryter strålen, for eksempel med en kam?

Når deler av lysstrålen forsvinner, vil jo deler av signalet bli borte, og dermed klarer ikke høytteren å spille lyden som den skal. Oppsettet vises i bildet under.



**Viktig:** Skru av forsterkeren og iPoden etter hver demonstrasjon.

### Vekkerklokke i vakuumblokk

Siden lyd bre seg ved at partikler vibrerer, kan ikke lyd bre seg i tomt rom. Dette kan demonstreres ved å putte en vekkerklokke inn i en vakuumblokk. Skru på vakuumpumpa. Denne suger luften ut under glassklokka, og lyden fra vekkerklokka blir svakere og svakere, men vi ser at den ringer. Vakuumpumpa bråker dessverre en del, så vi må nesten la pumpa jobbe og så skru den av. Når vi så slipper luften inn igjen, vil vi gradvis høre lyden komme tilbake.



## Trappetroll

Hvordan ble lyden i Star Wars laget?

- 1) Elevene må stikke høyre og venstre pekefinger gjennom løkkene og deretter holde fingrene på øregangen. Vipp på hodet slik at du får slått fjæra i bakken.

Lyden oppstår når trappetrollet slår mot gulvet eller når spiralen klapper sammen. Dernest brer lyden seg opp og ned langs spiralen og reflekteres fra endene. Slik kastes lyden fram og tilbake som et ekko. Det er denne effekten som gir lyden den romlige klangen. Lyden brer seg samtidig opp langs hyssingen til den når fingrene som overfører lyden til trommehinnene i ørene.

Det sies at de som produserte Star Wars-filmene brukte et slikt trappetroll for å lage lydene av skudd fra «blasterene». I virkeligheten ble lyden til filmene laget ved at det ble slått med en skiftenøkkel på en av stålbandunene til en radiomast. Lyden ble tatt opp og bearbeidet i studio. (se video: <https://www.youtube.com/watch?v=ZuMEfzD8aS0>).



## Lydbølger – elevhefte

### Se lyden

Foran deg har du et instrument som kalles et oscilloskop. Denne vil tegne bølgen til lyden vi hører, og vi kan dermed «se» lyden fra for eksempel ulike stemmegaffler eller din egen stemme.

Slå på en stemmegaffel, og fyll ut tabellen nedenfor ved å lese av oscilloskopet og gjøre beregninger.

Husk at

$$f = \frac{1}{T}$$

	Tone 1	Tone 2
Antall ruter for en hel periode		
Periode, T (s)		
Utrekning $f = 1/T$		
Beregnet frekvens, f (Hz)		
Les av frekvensen på stemmegaffelen og fyll inn		



## Lydfarten i luft

Nå skal dere lage stående lydbølger inne i et rør. Vi skal bruke små lette isoporkuler og disse påvirkes av trykkvariasjonene til lydbølgen. Dermed kan vi se variasjonene, og sånn sett se lydbølgen. Da kan dere også finne lydfarten i luft.

### Ta på dere øreklokker når dere holder på med høyttalere!

Fyll inn tabellen under og bruk verdiene sammen med bølgeformelen under til å beregne lydfarten i luft

$$v = \lambda \cdot f$$

Målt avstand fra bølgetopp til bølgetopp ( = $\lambda/2$ )	
Bølgelengde, $\lambda$	
Frekvens, $f$ (leses av på frekvensgeneratoren)	
Utrekning	
Beregnet lydfart i luft	
Teoretisk verdi for lydfart i luft	340 m/s



## Elektromagnetiske bølger

Posten består av tre oppgaver og en ekstraoppgave

- Mål lysets hastighet (lecher line) – 15 min
  - Regn ut lysfarten på en lecher line. Dette oppsettet står på eget rom, ta med gruppen din inn når det er ledig.  
Bruk plansjer som ligger fremme til å forklare elevene hvorfor de kan gjøre som de kan.
- Undersøke UV-stråling – 15 min
  - Denne oppgave handler om hvordan UV-dioden sender ut masse energirik stråling vi ikke kan se (vi ser noe, fordi det akkurat er innenfor den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret), og hvordan denne strålingen kan dempes.
- Undersøke egenskaper ved lys (lysboks) – 30 min
  - Her jobber elevene med lysbokser, og de har i tillegg et oppgavehefte og laminerte plansjer. Dere må veilede dem gjennom oppgaveheftet.  
Til denne oppgaven hører det også med litt ekstra utstyr (halvkar med olje og vann) og 4 demonstrasjoner elevene må dele på. Dette finner dere frem til dem underveis.  
Husk koblinger til lyd- og vannposten: interferens, refleksjon og brytning.
- Ekstra – IR-stråling
  - Hvis det blir ekstra tid til slutt kan elevene rette en fjernkontroll mot kameraet på telefonen sin, og få demonstrert IR-bølger.

## Elektromagnetiske bølger

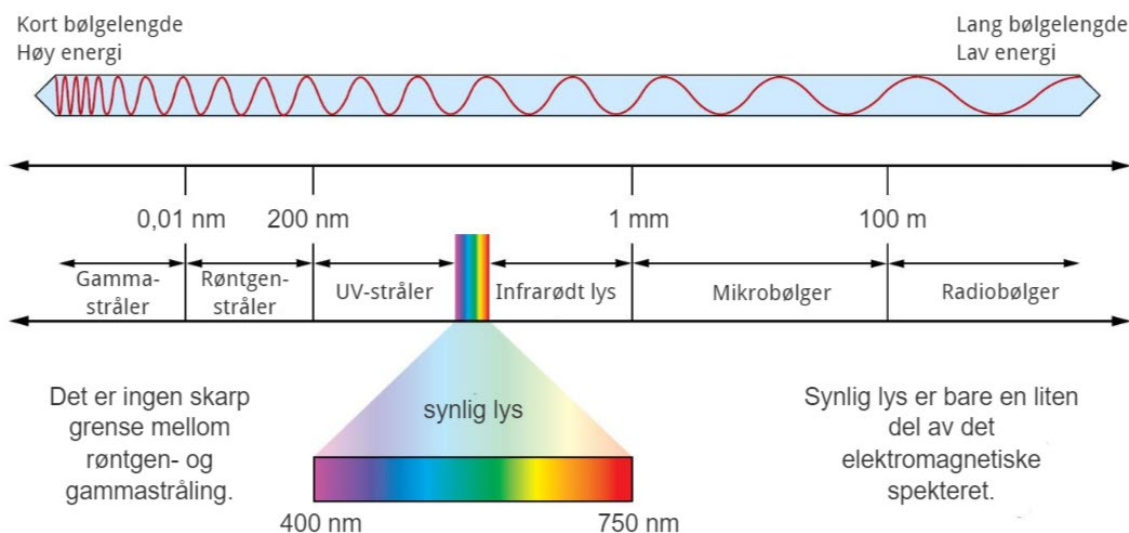
Rundt en elektrisk ladd partikkel vil det oppstå et elektrisk felt, rundt en magnet vil det oppstå et magnetfelt. Et elektron er en partikkel som har både elektriske og magnetiske egenskaper, så et elektromagnetisk felt vil oppstå rundt et elektron. En elektromagnetisk bølge er en endring i det elektriske og magnetiske feltet fra en slik partikkel, altså en forstyrrelse i det elektromagnetiske feltet. Denne endringen i feltet brer seg utover som en bølge, det er energi som forplanter seg. En elektromagnetisk bølge kan for eksempel oppstå når et elektron blir akselerert.

Elektromagnetiske bølger er bølger som kan bre seg i ulike medier, men i motsetning til mange andre bølger kan disse også bre seg i tomt rom. Alle elektromagnetiske bølger forplanter seg med hastigheten  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s i vakuum. Det finnes mange ulike typer elektromagnetiske bølger, og de har et vidt spekter av bruksområder. Radiobølger som vi kommuniserer med,

varmebølger, synlig lys, UV-stråling og røntgenstråling er alle elektromagnetiske bølger. Det som skiller dem fra hverandre er hvor mye energi de har, og siden det er en sammenheng mellom energi, frekvens og bølgelengde, vil også frekvens og bølgelengde være forskjellig for de ulike typene elektromagnetiske bølger. Hvis vi ser næyere på synlig lys, finner vi alle regnbuens farger, fra rødt til fiolett. Igjen er det kun energien, men da også bølgelengde og frekvens, som bestemmer om det er rødt eller blått lys. Samles alle disse fargene, ser vi det som hvitt lys.<sup>3</sup>

Elektromagnetiske bølger har mange av de samme egenskapene som andre bølger i denne løypa. De kan for eksempel reflekteres når de treffer ulike hindringer og de vil brytes når de går fra et medium til et annet.

På denne posten skal vi jobbe med fire former for elektromagnetiske bølger: radiobølger, synlig lys, UV-stråling og IR-bølger.



Figur: Det elektromagnetiske spekteret, Bjørn Norheim, NDLA

<sup>3</sup> (Johansen & Bøhle, 2020)



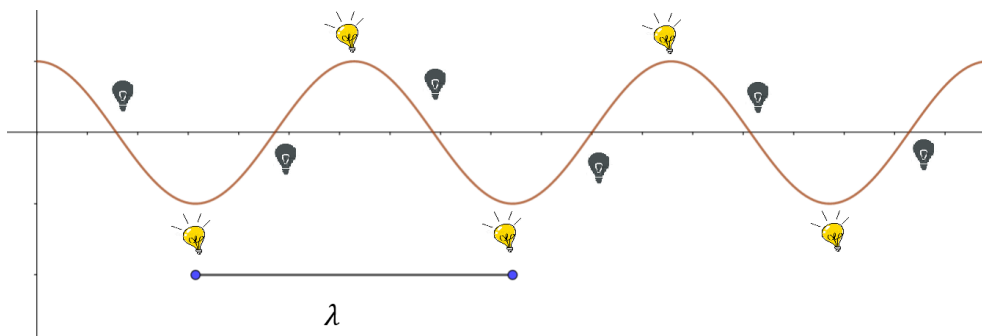
## Mål lysets hastighet

### Mål lysets hastighet – teori

Denne oppgaven har likt oppsett som Kundts rør på lydposten, men her bruker vi en RF-generator (Radio Frequency, altså radiobølger) med høye frekvenser (400 – 700 MHz). Vi får en elektromagnetisk bølge langs vaieren, og fører en lysdiode nedover planken med ett bein i hver vaier. Da ser vi at det er områder der lysdioden vil lyse mye, og områder der den lyser mindre eller ikke i det hele tatt. Lysdioden lyser mye der det er store variasjoner i feltet (maks utsalg på svingningen), og ingenting der vi har en node for den stående bølgen, altså null utslag. Også på denne posten står det et oppsett for å vise stående bølge på tråd for å hjelpe elevene med hva de ser på, se oppgave *Lydfarten i luft* under *Lydbølger*.

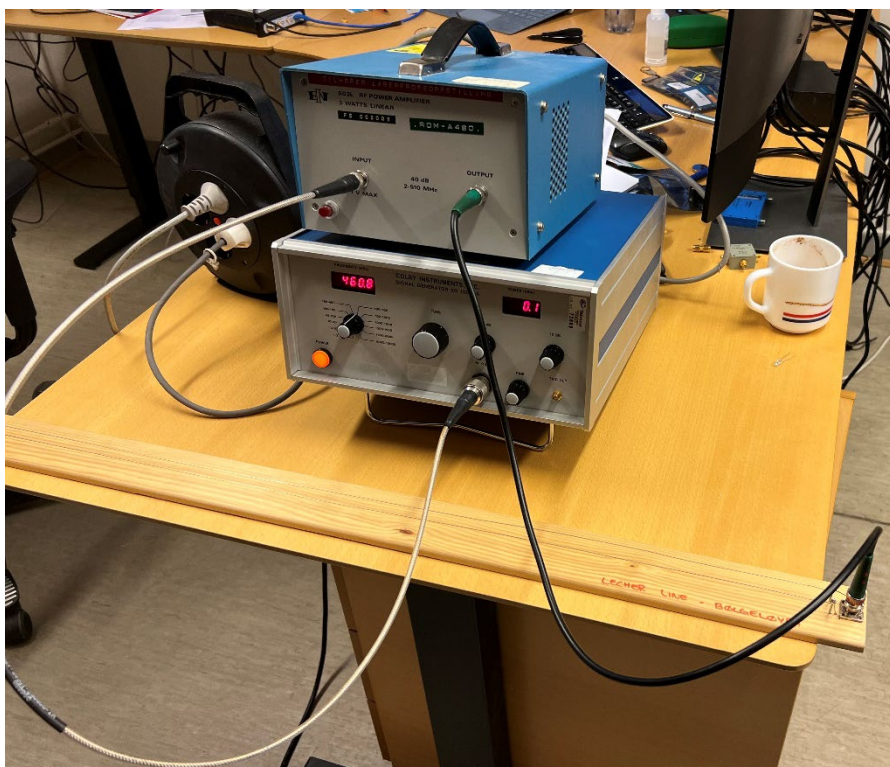
Én måte å se på det som skjer på, er å tenke at når vi kobler lysdioden med ett bein til hver vaier, lager vi en kortslutning og det går en strøm fra den ene vaieren til den andre, gjennom lysdioden. Vi kan tenke på den ene vaieren som 0-nivå. Når vi da beveger dioden nedover vaieren vil lysstyrken variere, nettopp fordi vi har variasjon av det elektriske feltet langs den ene vaieren. Er den elektromagnetiske bølgen i likevekt (node) vil det ikke gå strøm, fordi vi ikke har en potensialforskjell. Er dioden derimot i et område der den elektromagnetiske bølgen svinger kraftig, vil det være variasjon i spenningsforskjellen. Dette blir som en vekselspanning, og det får elektronene til å flytte på seg og vi får strøm. Dette er en forenkling, men en forklaring som kan brukes *dersom* noen elever spør.

Den grunnleggende forklaringen dere kan bruke sammen med elevene er at radiobølgen forplanter seg langs den ene vaieren, og får en lysdiode til å lyse i bestemte områder. Den lyser der den elektromagnetiske bølgen varierer mye, som på tråden, og ikke der det ikke er utslag. Derfor vil avstanden mellom to områder der dioden lyser, tilsvare en halv bølgelengde (se figuren under).



## Måle lysets hastighet – praktiske tips

Under vises oppsettet og et bilde av RF-generatoren. Hjulet ved rød pil trenger dere ikke røre, men pass på at denne ikke står på mer enn 0,1 dBm. Hjulet ved den blå pila skal stå på 400 – 700. Dette er i MHz. Hjulet ved den grønne pila kan brukes til å justere frekvensen innenfor dette området. Dette kan man gjøre hvis man ønsker å se at bølgelengden endres når man endrer frekvensen. Ikke bruk mer enn omtrent 550 – 600 MHz, for da slutter dioden å lyse.







## Mål lysets hastighet – oppgaveveiledning

(6 elever, 15 min)

Siden elektromagnetiske bølger påvirker elektroner, vil stort utslag i den elektromagnetiske bølgen lage en strøm, som får lysdioden til å lyse. Dermed kan de bruke lysdioden til å finne områder med maksimalt utslag. Ved å se på avstanden mellom de områdene med mest (eller minst) lys, kan de igjen bruke bølgeformelen sammen med frekvensen som vi leser av på apparatet og finne lyshastigheten.

- 1) Elevene skal føre lysdioden nedover vaieren (sørg for at et bein berører hver vaier) og se at lyset varierer i lysstyrke.
- 2) Merk av områdene der det lyser maksimalt med en binders på bordet. Mål avstanden mellom bindersene, og regn ut gjennomsnittet.
- 3) Frekvensen kan de lese av fra generatoren. (Verdien som står er i MHz, altså  $10^6$  Hz.)

Elevene er ikke nødvendigvis veldig gode på standardform, og heller ikke prefiksen M, og kan trenge hjelp til å skjønne at tallet 400 på instrumentet tilsvarer 400 000 000 Hz)

Avstanden mellom to punkter som lyser mye (ev. lite) vil da tilsvare en halv bølgelengde, og frekvensen kan de lese av på instrumentet. Da kan de sammen med  $c = \lambda \cdot f$  beregne lysfarten, som er  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

Hvis de har tid, kan de få beregne avviket fra teoretisk verdi gitt ved formelen under.

$$\frac{c_{teoretisk} - c_{beregnet}}{c_{teoretisk}} \cdot 100\%$$

- Hva tenker de om verdien de har kommet frem til?

Lyset kunne altså ha gått 7,5 ganger rundt jorda på et sekund og ved hjelp av en hjemmesnekret linje og en lysdiode, klarer vi å måle en grei tilnærming på denne hastigheten.



## Undersøke UV-stråling

### Undersøke UV-stråling – teori

Sola sender ut elektromagnetisk stråling med mange forskjellige bølgelengder, de mest energirike og skadelige stoppes heldigvis av atmosfæren. Den mest energirike formen for stråling som når ned til jordoverflaten, er ultrafiolett stråling eller UV-stråling. Den er utenfor det synlige spekteret, med en kortere bølgelengde enn det synlige lyset. Den er da også mer energirik enn det synlige lyset, og kan være skadelig for oss. <sup>4</sup>

UV-stråling har bølgelengde fra 100 til 400 nm. Vi snakker ofte om UVA, UVB og UVC stråling, der UVC har mest energi av disse. Det meste av UVC stoppes av ozonlaget. Det er UVB-strålingen som gjør oss solbrente, og den stimulerer til produksjon av fargestoffet melanin (pigment) i huden. UVA bruner det fargestoffet som allerede finnes. UV-stråling har så stor energi at de kan skade arvestoffet, DNA, i hudcellene, som igjen kan føre til hudkreft. Både UVA og UVB øker risikoen for å utvikle hudkreft, men det kan se ut som de gir en risikoøkning til ulike kreftformer. <sup>5</sup> UV-stråling er årsaken til 90 % av hudkrefttilfellene i Norge, og Norge er blant landene i verden med høyest forekomst og høyest dødelighet av hudkreft. <sup>6</sup>

Øynene kan også ta skade av UV-stråling, og for eksempel snøblindhet, en betennelsesreaksjon på hornhinna, er rett og slett at øyet er blitt solbrent. Når det gjelder solbriller, er det ikke nødvendigvis godt nok med farget glass. Det er viktig at solbrillene har nødvendig UV-beskyttelse. Det trenger ikke være dyre briller, alle briller med godkjent CE-merke eller UV400-merking, skal ha god UV-beskyttelse. <sup>7</sup> Det er kun slike solbriller det er lov å selge i Norge.

På den positive siden vil UV-strålingen stimulere til produksjon av D-vitamin i huden. D-vitamin er viktig for opptak av kalsium i skjelettet og vitaminet er fettløselig. Dermed kan det lagres i fettvev til kroppen har underskudd av det, som om vinteren for oss i Norge. <sup>8</sup> UV-strålingen kan også være til hjelp ved noen hudsykdommer.

---

<sup>4</sup> (Brandt, Fonstad, Hushovd, & Tellefsen, 2006)

<sup>5</sup> (Brandt, Fonstad, Hushovd, & Tellefsen, 2006)

<sup>6</sup> (Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet, 2023)

<sup>7</sup> (Specsavers, 2023)

<sup>8</sup> (Svendsen, Juel, Stølevik, & van Marion, 2020)



Det er viktig å bruke både solbriller og solkrem med UV-beskyttelse, og i dette forsøket skal vi undersøke effekten av solkrem og solbriller på UV-stråling. Mesteparten av lyset fra UV-dioden kan vi ikke se. Men vi bruker Schweppes som inneholder kinin, et fluoriserende stoff som sender ut et blåaktig lys når det blir utsatt for UV-stråling. Et fluoriserende stoff er et stoff som kan ta opp elektromagnetiske stråling, og deretter sende den ut igjen. Når lyset blir sendt ut igjen, har lyset endret karakteristikk. Det kan ha fått en lengre bølgelengde enn den innkommende strålingen hadde, og dermed blitt til synlig lys. På den måten kan vi sende inn lys med energi utenfor det synlige spekteret, mens det lyset som blir sendt ut er i det synlige spekteret.<sup>9</sup>

### Undersøke UV-stråling – praktiske tips

Pass på at elevene ikke ser direkte inn i UV-lyset.

### Undersøke UV-stråling – oppgaveveiledning

(6 elever (ev 3+3), 15 min)

Med dette oppsettet skal elevene undersøke UV-stråling

Eleven skal skru på lysdioden med UV-lys.

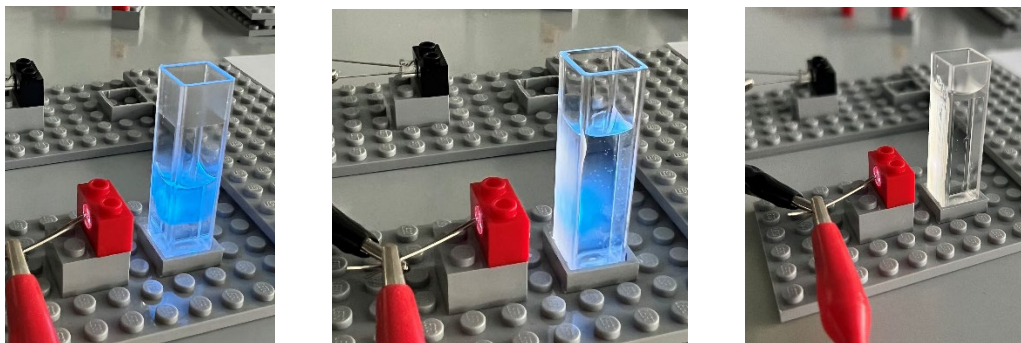
- 1) Elevene tar et kyvetteglass, og fyller det med Schweppes. Plasser kyvetteglasset med Schweppes foran UV-lyset.
  - Hva ser elevene? Bruk dette til å overbevise dem om at det finnes en energirik stråling der. Så selv om det ikke ser sånn ut, «lyser» UV-dioden. Her kan det påpekes at det er et svakt lilla lys, og dette er på grunn av at noe av energien som kommer ut fra dioden er akkurat innenfor det synlige spekteret.
- 2) De tar så to nye kyvetteglass med Schweppes. Smør et jevnt lag med hudkrem over den ene siden av glasset. Smør det andre kyvetteglasset med et like tykt lagt med solkrem, og hold det foran UV-lyset.
  - Hva ser de for de to kremene?
- 3) Plasser nå den rene Schweppes-kyvetten foran UV-lyset igjen. Plasserer en solbrille uten UV-beskyttelse og en med UV-beskyttelse foran glasset.

---

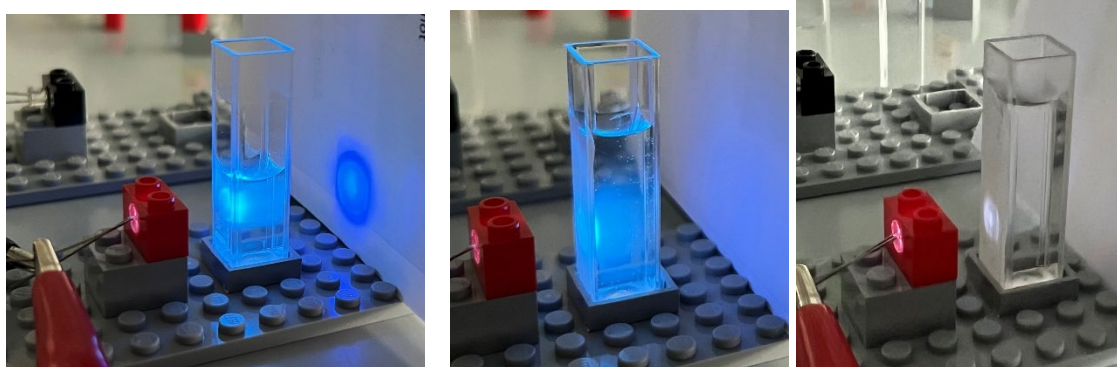
<sup>9</sup> (Jerstad, et al., 2013)



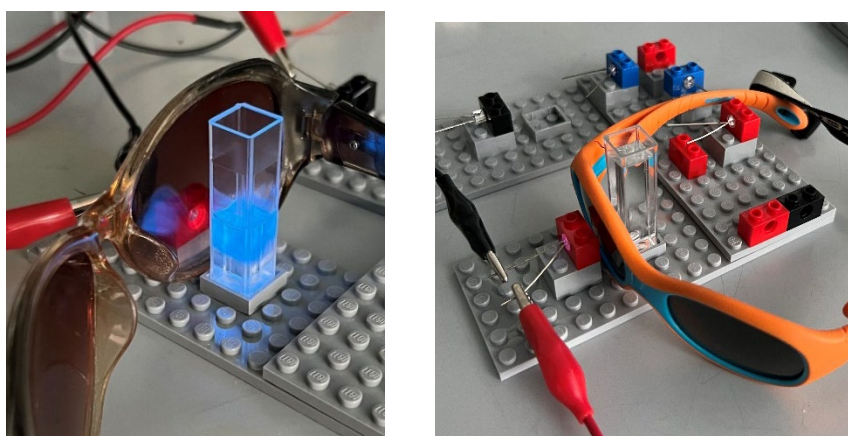
- Hva ser de?



UV-lys sendes på kyvetteglass med Schweppes. Fra venstre mot høyre; kun kyvetteglasset, glass med hudkrem, glass med solkrem.



Som over, men det er plassert et hvitt ark bak for å synliggjøre det vi ser. Hudkremen sprer UV-lyset, men stopper det ikke.



En solbrille uten UV-beskyttelse (venstre) og en solbrille med UV-beskyttelse (høyre). Igjen en synlig forskjell i effekten på Schweppes-vannet.



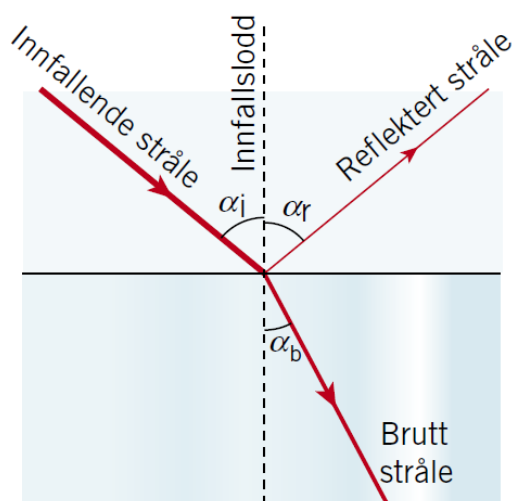
## Undersøke egenskaper ved lys

### Undersøke egenskaper ved lys – teori

Lys er en elektromagnetisk bølge, kanskje den vi forholder oss mest til. I denne oppgaven skal elevene se hva som skjer med lyset når det treffer et annet materiale enn det forplanter seg i.

Vi vet at hvis en bølge treffer en glatt overflate vil den kastes tilbake, den **reflekteres**. Dette gjelder også lys. Sender man en bølge (lysbølge eller vannbølge) vinkelrett mot en flate, vil den gå rett tilbake, mens hvis man sender den med en vinkel inn mot speil, vil refleksjonsvinkelen være like stor som innfallsvinkelen.

Innfallsvinkel er vinkel mellom lysstrålen og innfallsloddet. Innfallsloddet står vinkelrett på overflaten. Refleksjonsvinkel er vinkelen mellom den reflekterte lysstrålen og innfallsloddet, se figuren under.



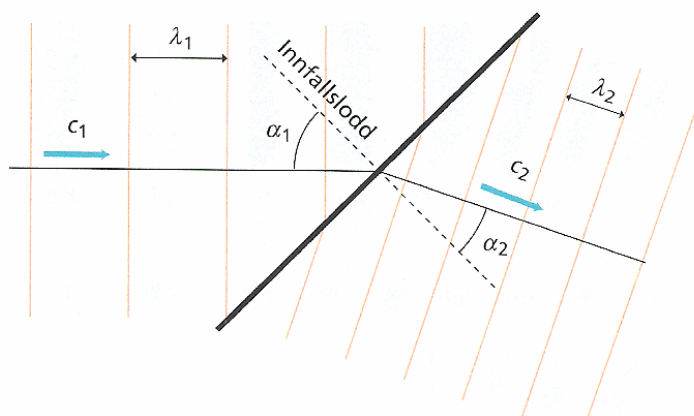
Figur: (Jerstad, et al., 2013)

Det trenger ikke å være et speil for at lyset skal reflekteres. Refleksjon opptrer også når en bølge treffer en **grenseflate mellom to medier**, der bølgen beveger seg med forskjellig hastighet. Sender vi lys mot for eksempel glass, vil vi se at noe av lyset reflekteres mens noe av lyset transmitteres, altså at det går inn i glasset.<sup>10</sup>

På Vannbølgeposten ble det snakket om at vannbølgene **brytes** når de kommer på grunnere vann fordi bølgefarten går ned. Vi har den samme

<sup>10</sup> (Holtebekk, 2018)

effekten for lys, når lys går fra et medium til et annet, der lyset har en annen hastighet. Da vil bølgen brytes, altså endre retning. På samme måte som når vannbølger kommer mot grunt vann, vil det for lys være slik at siden frekvensen fortsatt er den samme, og hastigheten går ned, blir bølgelengden mindre. Bølgene hoper seg ikke opp, og bølgefronten må være kontinuerlig. Derfor må lys som går fra et medium til et annet, endre retning (brytes), se figuren under. Hvor mye de brytes bestemmes av en brytningsindeks, som i sin tur er bestemt av hvor stor endring det er i farten til bølgen. Derfor vil ulike overganger (luft – glass, luft – olje, olje – luft) gi ulike brytningsvinkler.



Figur: (Grimenes, Jerstad, & Sletbak, 2016)

Når lys går fra et medium som er optisk tettere til et medium som er mindre optisk tett (for eksempel fra glass til luft), så finnes det en vinkel som gjør at brytningsvinkelen blir  $90^\circ$ . Dette vil si at hvis vinkelen er større enn denne grensevinkelen vil alt lys reflekteres og ikke noe av lyset går over i luften. Dette kalles **totalrefleksjon**. Er vinkelen mindre enn grensevinkelen vil fortsatt noe av lyset reflekteres og noe av lyset transmitteres, slik som for andre overganger. <sup>11</sup>

Denne grensevinkelen ligger rundt  $40^\circ$  fra glass til luft, men varierer fordi ulikt type glass har ulik brytningsindeks.

Totalrefleksjon blir benyttet for eksempel i **optiske fibre**. Man kan holde lyset i fiberen ved å hele tiden sørge for at innfallsvinkelen aldri er mindre enn grensevinkelen. Da vil lyset totalreflekteres, og lyssignalet blir i fiberen.

På andre poster undersøker elevene **overlagring/interferens** med vannbølger og med lydbølger. Det samme fenomenet vil gjelde for lysbølger.

<sup>11</sup> (Skaar, 2018)



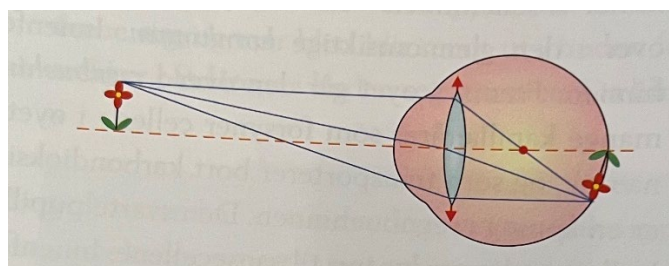
Hvis man sender en lysstråle gjennom en dobbeltspalte (to smale åpninger), vil lyset bre seg videre som to sirkulære bølger, en fra hver åpning. De er da selvfølgelig i fase, og vil overlage på akkurat samme måte som lyd- og vannbølger. Dermed blir det områder med utslokking, områder med maksimal forsterkning og alt mellom. Sender vi da dette lyset på en vegg ser man et mønster, med overgang fra mye lys til mindre og ingen lys, og over til mye lys igjen.

Et gitter fungerer på lignende vis, men i stedet for den gradvise overgangen vil man kun få lys i maksimaene, så vi ser prikker på veggen.

Sender man **hvitt lys** gjennom et gitter, vil de ulike bølgelengdene bøyes av ulikt, og i stedet for enkeltprikker med rødt lys fra det monokromatiske laserlyset, vil det bli områder med alle regnbuens farger på veggen.<sup>12</sup>

Brytning brukes også av **øyet** vårt slik at vi ser skarpt, og til **briller** hvis øyet vårt ikke ser skarpt. Når lyset treffer øyet, brytes det i øyets brytende medier og treffer netthinnen hvor det blir omgjort til elektriske impulser. Disse impulsene sendes til synssenteret i hjernen hvor de blir tolket. Øyets «brytende medier» utgjør et sammensatt linsesystem som virker som en samlelinse.<sup>13</sup>

Når vi fester blikket på noe, vil krumningen i hornhinnen og linsen gjøre at bildet treffer netthinnen. For at øyet skal se skarpt må lysstråler fra samme punkt samles på netthinnen, se figuren under.



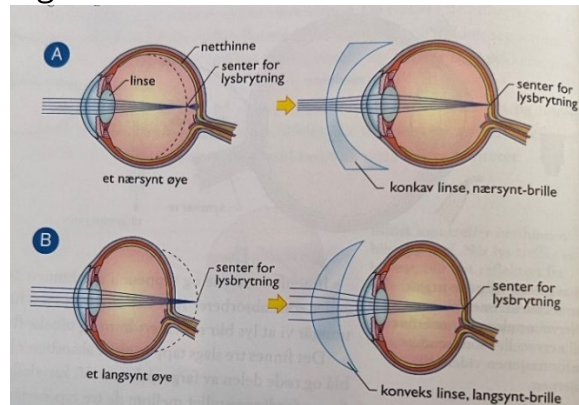
Figur: (Sletbakk, 2007)

For gjenstander som er langt borte fra øyet, vil strålene som treffer øyet fra et punkt være tilnærmet parallelle og vi kan bruke figuren under som en modell for hvorvidt et øye ser normal, er nærsynt eller langsynt.

<sup>12</sup> (Jerstad, et al., 2013)

<sup>13</sup> (Sandvig, 2018)

Da kan vi si at et nærsynt øye er for dypt, slik at lysstrålene samles foran netthinnen når du ser på noe langt unna. Et langsynt øye er for kort, slik at lysstrålene samler seg i et punkt bak netthinnen, og de ser dårlig på nært hold. Brillor kan korrigere for dette.



Figur: (Sletbakk, 2007)

## Undersøke egenskaper ved lys – praktiske tips

På denne posten ligger det et oppgavehefte som hører til lysboksene på hvert bord. Disse brukes flere ganger. I tillegg ligger det flere laminerte figurer, det er meningen at elevene skal tegne på disse. De har også tabeller i elevheftet sitt som skal fylles ut. Sørg for at de tegner, ellers mister flere av oppgavene sin hensikt. Elevene vasker av de laminerte plansjene etter oppgaven, og dere kan bytte oppskriftsheftene ved behov.

Selv om de har et oppskriftshefte kan elevene synes at det er vanskelig å komme seg videre i denne oppgaven. Hjelp dem i gang i starten, still spørsmål underveis og veiled dem slik at de kommer seg videre.

Som dere ser i oppgaven under er det 5 felles demoer knyttet til de ulike oppgavene med lysboksen. Enten kan dere hente disse demoene etter hvert som gruppene kommer til der de er relevante, eller så kan dere kjøre noen av dem i fellesskap på slutten.





## Undersøke egenskaper ved lys – oppgaveveiledning

(3+3 elever), 30 min)

Elevene bruker en lysboks med noen plater som kan sende lyset i ønsket retning og noen linser som påvirker lyset. Det skal de bruke til å utforske noen egenskaper ved lys, og elevene blir i denne oppgaven bedt om å

- 1) Undersøke refleksjon og brytning av lys
  - a) Se på brytning og refleksjon
    - i. Se at lyset både reflekteres **og** går inn i glasset når det møter en overflate til et annet medium (her glass)
    - ii. Sammenhengen mellom innfallsvinkel og refleksjonsvinkel.
    - iii. Og se at lyset brytes når det går inn i glasset, kvalitativt se på brytningsvinkel.
  - b) Se på brytningsvinkel i ulike typer medier
    - i. Felles demo: Her kan det være fint å finne frem et kar med vann og et kar med olje med noe som er laget av glass i begge karene. Da ser man at man knapt kan se glasset i oljen. Dette er fordi de har relativt lik brytningsindeks.
  - c) Se på overgangen glass – luft og se om de finner en grensevinkel.
    - i. Her er det fint å referere til den optiske fiberen som står på lydposten, avhengig av hvor man er først. Lyset holder seg i fiberen, gitt at innfallsvinkelen aldri blir mindre enn grensevinkelen.

Felles demo: Man kan også her trekke frem en felles demonstrasjon der man «heller laserlys». Bruk en flaske med hull i siden og fyll den med vann. Sikt en laserpeker gjennom vannet og ut av hullet. Når man skrur opp korken og vannet spruter ut ser man at også laserlyset kommer ned i vasken.

Felles demo: Et kubisk vannkar med en tegning av en fisk er også fin i denne sammenhengen. Er karet uten vann ser man fisken uansett hvor man ser fra, men hvis man fyller karet med vann ser man at fiskefiguren forsvinner



når man står ved gitte vinkler. Dette skjer når vinkelen på lyset fra fisken som går fra vannet til lufta, er større enn grensevinkelen for totalrefleksjon for disse to mediene. Ser man rett på fisken ser man den fortsatt.

- 2) Interferens med lys med gitter (også her skal det ligge en plansje med interferensmønster).
  - a) Se at lys (laser) også gir interferensmønster. Send lyset gjennom en dobbeltspalte mot en vegg, og se at det blir gradvis sterkere og svakere når man ser fra midten og utover langs de røde flekkene. (Merk: Dobbeltspalte vet nok ikke elevene hva er, og de ser det ikke heller. Påpek at det er to bittesmå åpninger, som gjør at vi får to sirkulære lysbølger som brer seg utover bak åpningene.)
  - b) Sender man lyset gjennom gitter får man bare makspunktene
  - c) Send så det hvite lyset gjennom gitteret og se regnbuens farger klart og tydelig. Hvitt lys består av alle regnbuens farger, det som skiller de ulike fargene er bølgelengde (frekvens).
  - d) Nå kan man også legge på filter foran, og se at det røde filteret ikke farger lyset, men fjerner de andre fargene enn rødt.
  
- 3) Undersøke hvordan briller fungerer.
  - a) Se hvor tre parallelle lysstråler samles for et vanlig øye
  - b) et langsynt øye
  - c) og et nærsynt øye
  - d) Legge briller på de langsynte og nærsynte øyet.

Felles demo: I dette rommet er det og en litt morsom bruk av speil. Sett de to speilene oppå hverandre, og putt en liten figur oppi. På grunn av refleksjonen ser det ut som om figuren ligger oppå hullet. Prøv å ta tak i den ...

## Undersøke egenskaper ved lys – ekstraoppgave

Hvis elevene løser oppgaven over raskt, kan de se på dette med farger og blanding av farger.

Når vi blander farger digitalt, bruker vi rødt, blått og grønt for å få alle fargene vi trenger.

Det finnes fargefiltre i boksene, og man kan sende lyset ut fra den andre siden av boksen. Her er det tre åpninger, og man kan for eksempel sette et



rødt filter foran den ene utgangen, grønt foran den andre og blått foran det tredje. Det finnes to speil i boksen, sett dem slik at fargene blandes. La elevene leke seg med dette.

- 1) Klarer de å lage hvitt lys?
- 2) Hva skjer når man blander de ulike fargene?
- 3) Hold en penn/finger i en av fargeområdene. Hva skjer med skyggene i de ulike fargeområdene?

## Ekstraoppgave – IR-stråling

### IR-stråling – teori

Ved siden av synlig lys i det elektromagnetiske spekteret, med lengre bølgelengde enn rødt lys, finner vi en annen type stråling som kalles infrarød stråling, eller varmestråling. Denne formen for stråling/bølger kan vi heller ikke se, men vi kan føle den, for eksempel når du holder hendene dine over en varmeovn eller foran et bål. Alle gjenstander med en temperatur sender ut slik stråling, og hvor mye gjenstanden sender ut er avhengig av hvor høy temperaturen er. Noen dyr kan se denne typen stråling, og de bruker denne egenskapen til å finne byttedyr i mørket. Det finnes også kameraer som kan ta bilde av varmestrålingen. Disse kameraene kan brukes til å søke etter personer i fjellet, fordi en person vil sende ut mere varmestråling enn omgivelsene, og vil lettere være synlig for et slikt kamera enn for øyet vårt.

Fjernkontroller benytter seg av IR-stråling. For å skru på en enhet sendes denne typen stråling fra en fjernkontroll til en sensor på for eksempel TV-en, som detekterer IR-strålen og tolker om volumet skal opp, eller TV-en skal av.

Som sagt kan ikke øyet se denne strålingen. Et mobilkamera derimot er sensitiv for flere bølgelengder av lys enn det øyet er, og kan «se» strålingen fra fjernkontrollen. Det tolker strålingen som en slags lillafarge.

### IR-stråling – oppgaveveiledning

- 1) Rett en fjernkontroll mot et mobilkamera, og ta bilde/video av fjernkontrollen i bruk. Da er det mulig å se at kameraet fanger opp en farge øyet ikke kan registrere.
  - Hvordan tolker mobilkameraet denne strålen?



- 2) Bruk også fjernkontrollen til å skru på en enhet, men vend fjernkontrollen vekk fra enheten slik at strålen må reflekteres av et ark for å skru på enheten. Bruk et hvitt ark og et (matt) svart ark.
- Hva ser de? Hvorfor er det slik?

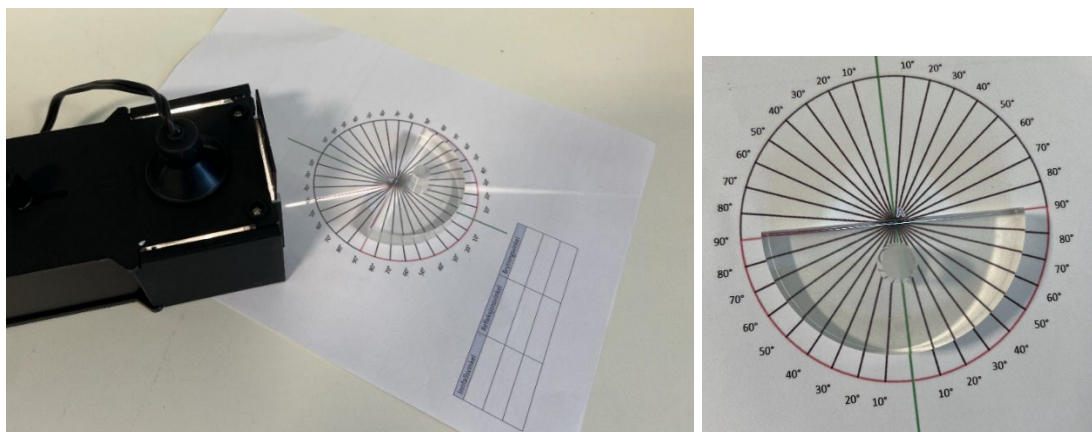


## Undersøk egenskaper ved lys – oppgavehefte

Foran dere har dere en svart lysboks, en lampe i en boks. Av tilbehør finnes det svarte plater som kan sende lyset med en eller flere striper og ulike former laget av glass. Det finnes også et halvkar med gradskive som man kan ha olje og vann i. Underveis i oppgaven får dere også bruk for tre fargefilter, og to gitter. Alt dette vises på bildet under. Dette oppsettet skal dere bruke til å utforske noen egenskaper ved lys.



Innhold til lysboksoppgaven; svart boks, halvkar, svart plate, 1 halvsirkelformet glassplate og 3 glasslinser, 3 fargefilter og 2 gitter.



Oppsett med lysboks med svart plate foran lyset, slik at det kun blir en enkelt lysstråle. En halvsirkelformet glassplate er plassert på den rosa delen av gradskiven, vist på bildet til høyre. Med dette oppsettet kan dere gjøre målinger på lysstrålen.

For hver oppgave har dere tabeller i elevheftet dere skal fylle ut. De følger oppgavenummer og a), b) osv.. **Tegn inn strålen på de laminerte arkene, les av verdier og fyll ut tabellene i elevheftet.**

## Oppgave 1 – Lysbrytning og refleksjon

Her skal dere undersøke hva som skjer med lys når det treffer en overflate med annet materiale.

I første oppgave skal dere undersøke hva som skjer med lyset når det treffer en overflate av glass.

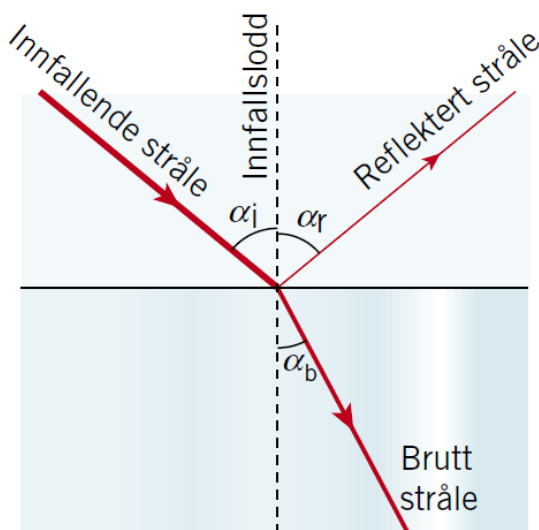
- Sett opp den svarte lysboksen som vist på bildet over. Bruk en svart plate med **én** åpning, slik at dere får **én** lysstripe. Plasser den svarte platen på siden til boksen merket med 1.

Sett lysboksen på arket med oppgave 1 a)

Bruk en halvsirkelformet glassplate og plasser det liggende i den halvsirkelformede rosa innrammingen, se bilde over

Send lyset skrått inn mot punkt A. Vær nøye med å treffe punktet.

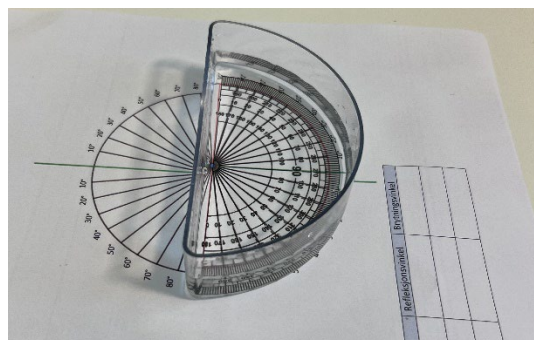
- Hva skjer med lysstrålen når den møter glasset? **Tegn inn** alle lysstrålene på den laminerte figuren.
- Hva skjer med den reflekterte strålen hvis du endrer den innfallende strålen (se bildet til høyre)? Tegn av lysstrålen.
- Undersøk strålen som går inn i glassplaten. Hva skjer med lysstrålen når den går inn i glasset? **Tegn** på den laminerte figuren.
- Bruk 3 ulike innfallsvinkler ( $\alpha_i$ -innfallende stråle), og for hver av disse skal dere måle det som kalles refleksjonsvinkelen ( $\alpha_r$  – reflektert stråle) og det som kalles brytningsvinkelen ( $\alpha_b$  – brutt stråle). Skriv ned i tabellen på elevheftet.
  - Hvilken sammenheng finner dere mellom innfallsvinkel og refleksjonsvinkel og innfallsvinkel og brytningsvinkel?





- b) Dere har til nå sett på overgangen fra luft til glass. Nå skal dere se på overgangen fra luft til olje og luft til vann.

Sett lysboksen med en bestemt innfallsvinkel og glassplaten på arket merket b). Får dere samme brytningsvinkel hvis dere bytter ut glass med et kar med vann? Hva med olje? (Dere får olje og vann fra studenten). **Tegn** det dere ser, da blir det enklere å sammenligne. Les av verdien og fyll ut tabellen i elevheftet. Bruk to ulike vinkler.



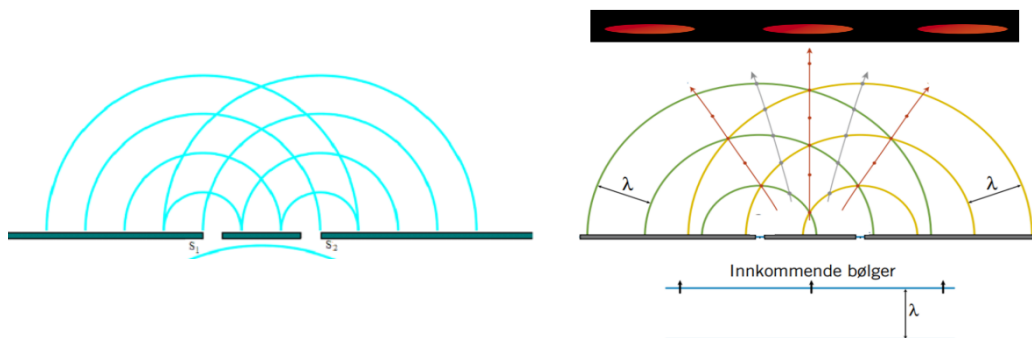
- c) Til slutt skal dere igjen bruke en halvsirkelformet glassplate. Plasser denne på den øvre delen av gradskiven, der det nå er rosa. Send lyset inn mot glasset mot den buede siden, og undersøk hva som skjer med lyset når det kommer skrått inn mot den rette siden og skal ut igjen. Altså overgangen glass – luft. **Tegn** på ark c).

- Hva skjer med brytningsvinkelen i forhold til innfallsvinkelen nå?
- Øk innfallsvinkelen, altså flytt lysboksen lenger ned på arket. Hva skjer med lyset når innfallsvinkelen blir stor nok?
- Finner du en såkalt «grensevinkel»?

## Oppgave 2

Her skal dere se at lys overlager på samme måte bølger i vann og lydbølger.

- a) Bruk en laserpenn og send lyset gjennom to bitte små åpninger mot en hvit vegg (dere får utstyr av studenten). Disse små åpningene gjør at lyset brer seg videre som to sirkulære bølger etter at det har passert åpningene.



**Tegn** det du ser i elevheftet på 2 a).

b) Ta nå et gitter i stedet for spalteåpningen, og send laserlyset gjennom gitteret mot veggen. (Et gitter er en slags rist, med mange, mange bitte små linjer med liten avstand)

Hva ser du nå? Igjen, **tegn** det du ser på 2 b).

c) Bytt nå ut laserlyset med det hvite lyset fra lysboksen, fortsatt slik at det blir en tynn stripe av det hvite lyset fra lysboksen. Send dette lyset gjennom gitteret mot veggen. Bruk nå siden merket med 2. Hva ser du nå?

**Tegn** på 2 c.

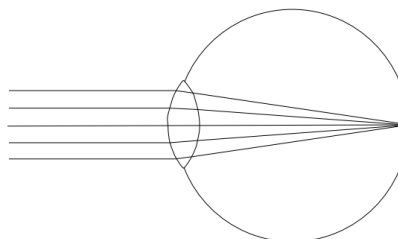
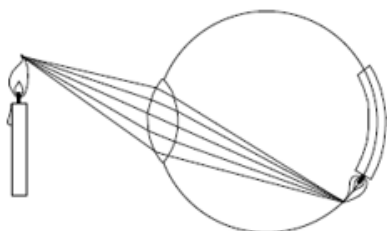
- Hvorfor blir det slik? Hva er hvitt lys?

d) Helt til slutt kan du finne frem fargefiltrene som hører til boksen. Hold først det røde filteret foran gitteret og lysstrålen. Hva skjer med lyset? Prøv deretter det grønne og det blå. Hva gjør filteret?

### Oppgave 3 – Brille

*Her skal dere undersøke hvordan briller fungerer.*

Under til venstre ser dere hvordan normalt syn gir klart bilde. Stråler fra et punkt på for eksempel et stearinlys, må samles på netthinnen for å se skarpt. Ser man på noe langt unna, vil strålene være tilnærmet parallelle i det de treffer linsen i øyet, der for bruker vi tre parallelle lysstråler i dette forsøket.







I denne oppgaven er øyets linse og øyeeple tegnet inn. Du skal tegne hvordan strålene brytes i øyets linse, og se hva som skjer med et nærsynt øye og et langsynt øye, og legge på briller for å få øyet til å se normalt.



Velg den tykke linsen som øyets linse (det som passer i figuren), og legg den på det markerte område på siste side. Plasser linsa først.

Velg så en svart plate som gir 3 parallelle stråler, og pek disse tre parallelle strålene mot linsa. Nå skal dere igjen la lyset komme ut fra boksen sin side merket med 1.

- a) Bruk først det øverste øyet med normalt syn. **Tegn** de tre strålene, og se hvor de samles.

(I b) og c) er det tegnet inn en nærsynt og et langsynt øye. For at det skal passe med de ulike linsene i boksen, er tegningen svært overdrevet.)

- b) Flytt oppsettet med linse og lysboks ned til det langsynte øyet. Plasser linsa først, og deretter retter du de parallelle strålene mot linsa. **Tegn** inn de tre strålene og marker hvor de samles.

- c) Flytt oppsettet ned til det nærsynte øyet, plasser linsa først, deretter lysboksen og tegn for siste gang de tre strålene og marker hvor de samles.

- Ser dere hvorfor man ser uskarpt når man er nærsynt og langsynt?
- Hvor samles strålene for det langsynte øyet? Hva med det nærsynte?

- d) Til slutt kan du prøve å gi det nærsynte og det langsynte øyet briller (en ekstra linse) foran øyet. Se om du klarer å samle de tre strålene bakerst på netthinna, slik det er for det normale øyet.

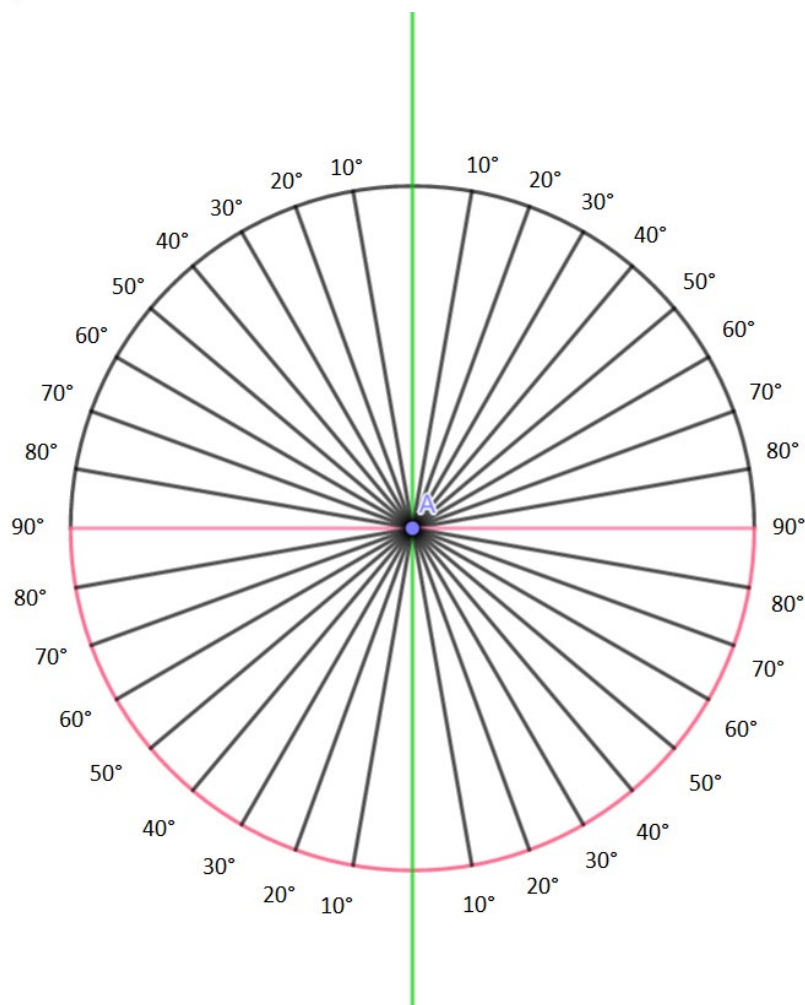
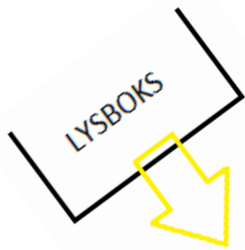
*Når dere er ferdige med alle oppgavene visker dere ut tegningen deres på alle de laminerte arkene.*



## Undersøke egenskaper til lys (lysboks) – laminerte figurer

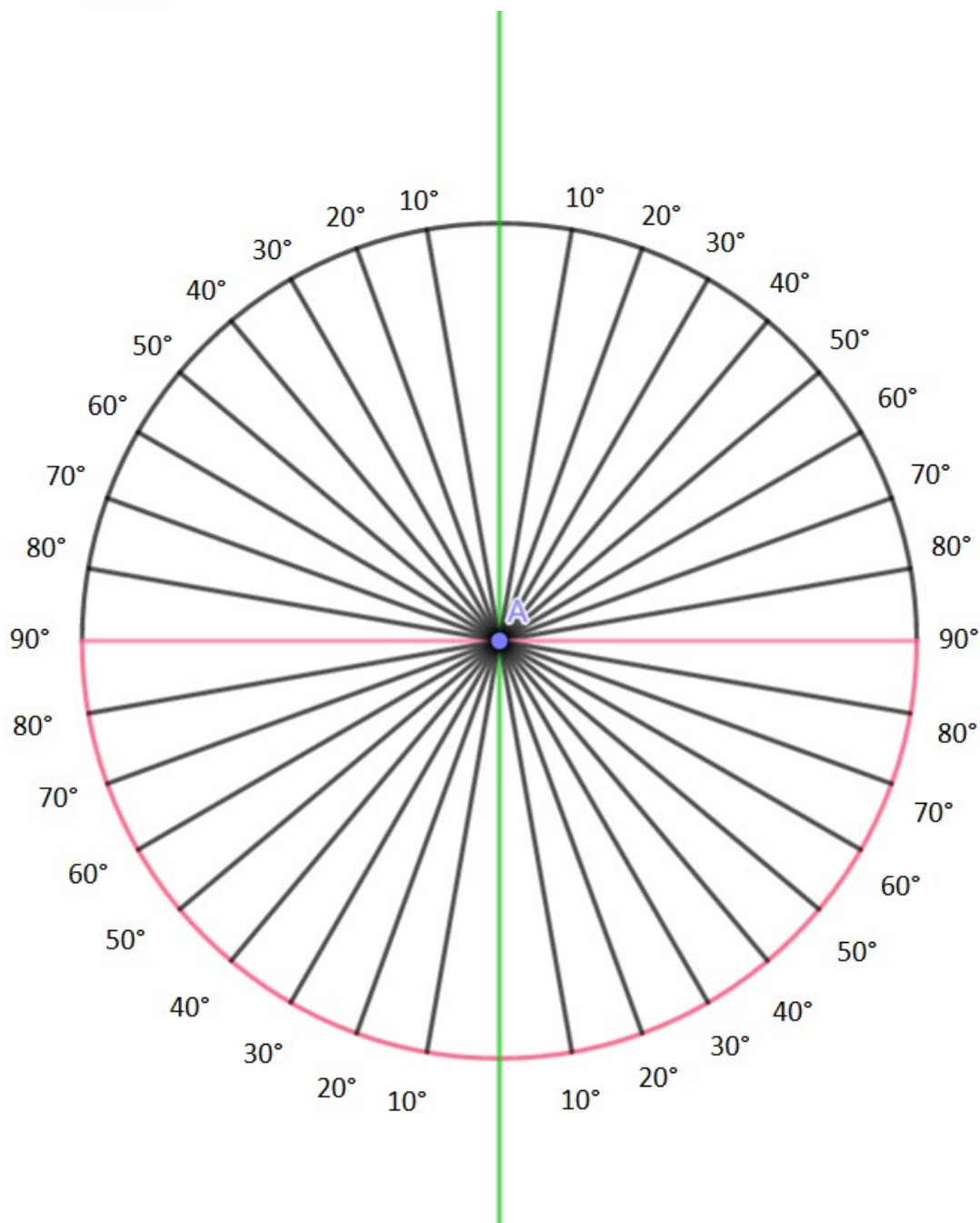
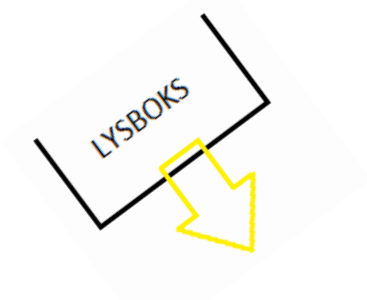
### Oppgave 1 – Lysbrytning og refleksjon

- a) En lysstråle i overgangen luft – glass;  
med refleksjonsvinkel og brytningsvinkel



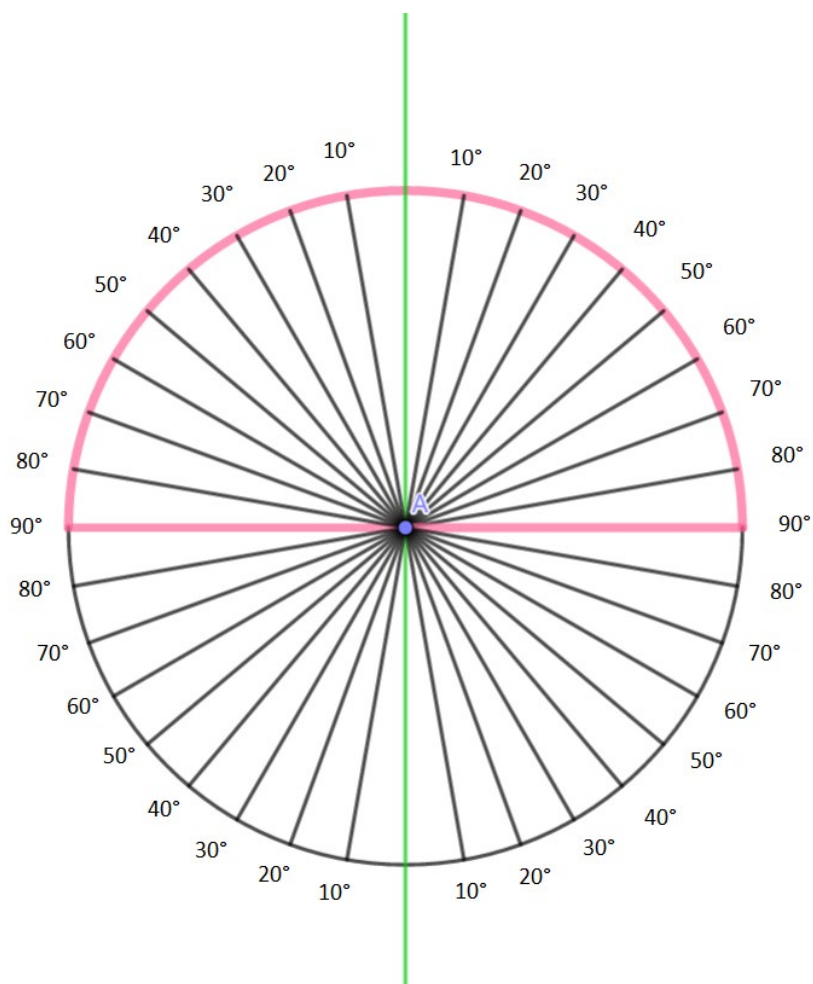
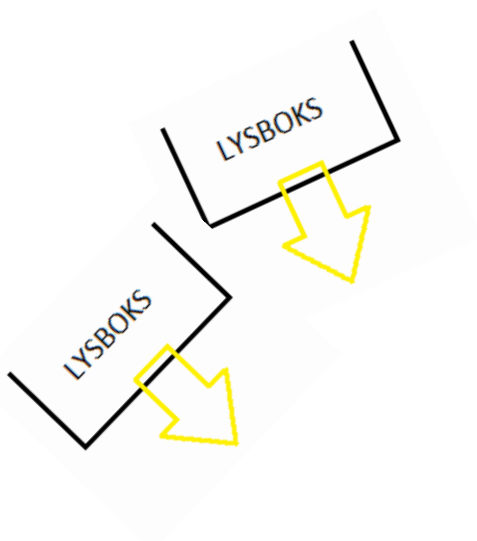


b) Brytningsvinkel: Fra luft til glass, olje og vann





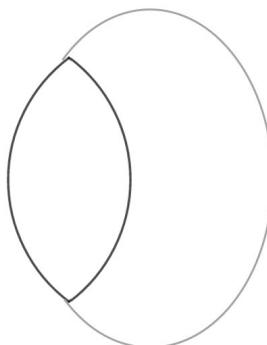
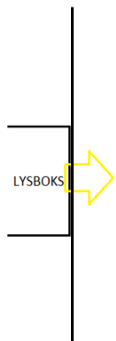
c) Overgangen glass - luft



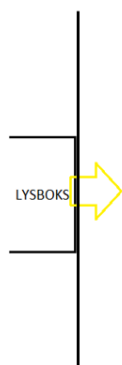


### Oppgave 3 – Brille

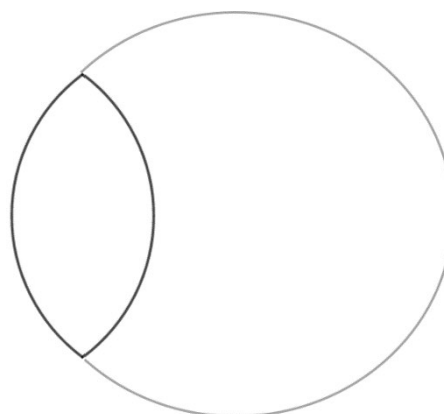
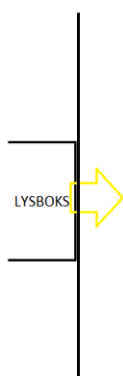
(ikke eksakt samme figur som på posten av praktiske hensyn)  
 Øye ved normalt syn:



Et «langsynt» øye:



Et «nærsynt» øye:





## Elektromagnetiske bølger – Elevhefte

### Mål lysets hastighet

I dette forsøket skal vi sende ut en elektromagnetisk bølge langs en vaier, finne bølgelengden og bruke dette til å finne lysets hastighet.

Fyll ut tabellen, og sammen med formelen under kan du finne lysfarten,  $c$ .

$$c = \lambda \cdot f$$

Gjennomsnittlig avstand mellom to punkter med stort utslag ( $= \lambda/2$ )	
Bølgelengde, $\lambda$	
Frekvens, $f$ (Leses av fra generatoren)	
Lysets hastighet, beregnet	
Lysets hastighet, teoretisk	$c = 300\,000\,000 \text{ m/s}$

### Undersøke egenskaper ved lys med lysbokser

#### Oppgave 1 – Lysbrytning og refleksjon

- a) En lysstråle i overgangen luft – glass; med refleksjonsvinkel og brytningsvinkel

Innfallsvinkel ( $\alpha_i$ )	Refleksjonsvinkel ( $\alpha_r$ )	Brytningsvinkel ( $\alpha_b$ )



b) Brytningsvinkel: Fra luft til glass, olje og vann

Innfallsvinkel	Brytningsvinkel glassprisme	Brytningsvinkel vann	Brytningsvinkel olje

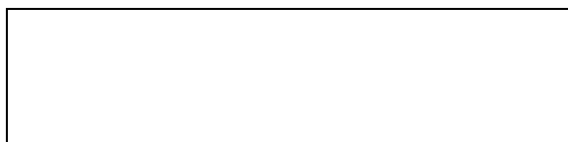
c) Overgangen glass – luft

Innfallsvinkel	Brytningsvinkel

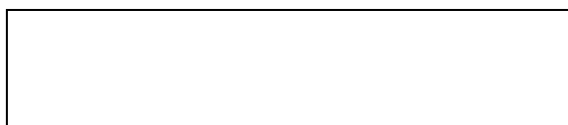
Grensevinkel, fra glass til luft: \_\_\_\_\_

### Oppgave 2 – Overlagring

a)



b)



c)





## Trådløs kommunikasjon: micro:bit som sender/mottaker

På denne posten jobber elevene i grupper på 2 og 2.

Posten består av 4 (5) demonstrasjoner og én oppgave:

- Innledende demonstrasjoner om trådløs kommunikasjon
  - Bruk plansjer, simulering og en demonstrasjon til å forklare hovedprinsippene til trådløs kommunikasjon. Henvis til *lys til lyd*-modellen, som står på posten *Lydbølger*, som er listet opp som demo 5 under.
- Micro.bit som sender og mottaker
  - Her skal de kode en micro:bit, og bruke denne som et eksempel på trådløs kommunikasjon. Etter to introduksjonsoppgaver skal de kode micro:biten som sender og mottaker. De skal også teste rekkevidden til micro:bitene ved å bevege seg ut av rommet. Til slutt skal de lage en sykkyverialarm. Det finnes også ekstraoppgaver til micro:bit, hvis noen elever blir ferdige fort.

### Trådløs kommunikasjon – teori

På denne posten skal vi jobbe med radiobølger (elektromagnetiske bølger) og hvordan disse kan brukes til trådløs kommunikasjon. I hverdagen omgir vi oss med trådløs kommunikasjon hele tiden, som f.eks. Wi-Fi, radio, mobiltelefoner, utstyr med blåtannteknologi, bankkort og mye mer. Digital teknologi gjør denne kommunikasjon effektiv.

Som skrevet under forrige post, dannes en elektromagnetisk bølge av at en ladd partikkel blir akselerert, fordi det da oppstår en endring i det elektromagnetiske feltet. Et elektrisk signal setter nettopp elektroner i bevegelse og dermed dannes elektromagnetiske bølger.

Når vi kommuniserer trådløst med dagens teknologi blir informasjonen sendt som elektromagnetiske bølger. De bølgene vi bruker til kommunikasjon er i radio- og mikrobølgeområdet av det elektromagnetiske spekteret, og har en bølgelengde på mellom  $10^5$  og  $10^{-3}$  m, og dermed en frekvens på mellom  $10^3$  og  $10^{11}$  Hz.<sup>14</sup>

I trådløs kommunikasjon er altså den elektromagnetiske bølgen en bærebølge. Denne bølgen blir modulert (endret) til å bære med seg

---

<sup>14</sup> (Stette, 2022)





informasjon om da enten lyd (en telefonsamtale eller et musikkopptak), et bilde, en pengeoverføring eller en applikasjon som skal lastes inn på mobiltelefonen. Informasjonen kan sendes ved at den digitaliseres til 0ere og 1ere, og gjøres om til et elektrisk signal. En antenne gjør om det elektriske signalet til en elektromagnetisk bølge, som for eksempel frekvensmoduleres slik at en frekvens betyr 0 og en annen frekvens betyr 1. Det er denne elektromagnetiske bølgen som bærer informasjonen frem til mottakeren. Mottakerantennen registrerer den elektromagnetiske bølgen, og tolker informasjonen tilbake til 0ere og 1ere. Deretter behandles signalet videre til å vise frem et bilde, spille av lyd eller laste inn et program. Moderne elektronikk behandler signaler mye raskere enn våre øyne og øre, og denne overføring kan derfor gjøres på en brøkdel av den tiden det tar å lytte til for eksempel et lydsignal.<sup>15</sup>

Elektromagnetiske bølger har mange av de samme egenskapene som andre bølger i denne løypa. De vil for eksempel dempes når de forplanter seg i luft og de reflekteres når de treffer ulike hindringer. Dette er relevant for hvordan vi bruker trådløs kommunikasjon, ved store avstander vil signalet ofte gå fra en basestasjon til en annen langs kabler i bakken for å unngå å bruke for mye energi for å sende signalet.<sup>16</sup>

Dagens trådløse kommunikasjon startet på 1990-tallet, men de første relevante forsøkene for utvikling av denne teknologien startet allerede på slutten av 1800-tallet. Radiobølger ble først beskrevet av James Clerk Maxwell rundt 1870, han mente radiobølger ikke kom til å ha noen praktisk nytte. Radiobølgene ble eksperimentelt bekreftet av Heinrich Hertz noen år senere, og i 1901 sendte Guglielmo Marconi det første radiosignalet over Atlanterhavet.<sup>17</sup>

Noen av demonstrasjonene på denne posten er kanskje ikke så revolusjonerende for oss i dag, når vi benytter oss av trådløs kommunikasjon oftere enn vi er klar over, men forestill dere hvordan det må ha vært når de for over 100 år siden sendte en talebeskjed trådløst over 1000 meter.

---

<sup>15</sup> (Brandt, Hushovd, & Tellefsen, Naturfag SF, 2020)

<sup>16</sup> (Brandt, Hushovd, & Tellefsen, Naturfag SF, 2020)

<sup>17</sup> (Wagner, 2020)

## Demonstrasjoner knyttet til trådløs kommunikasjon

(6 elever – 5–10 min)

Før elevene går i gang med micro:bit-oppgaven bruker dere følgende 4 (5) demonstrasjoner/plansjer til å forklare grunnprinsippene bak trådløs kommunikasjon.

### *Demo 1 – Plansje med Pavarotti som synger*

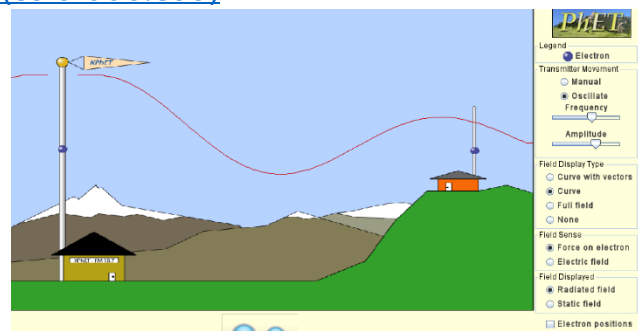
Når man snakker, settes det i gang vibrasjoner i stemmebåndet. Disse vibrasjonene skaper lydbølger som forplanter seg i luften ved vibrasjon av luftpartikler. Vibrasjonene registreres i øret, og sender signal til hjernen som tolker lyden. Dette er jo et eksempel på trådløs kommunikasjon, og faktisk ikke helt ulikt det som skjer når vi bruker elektromagnetiske bølger i moderne trådløs kommunikasjon.

Da blir informasjon som ønskes overført oversatt til et elektrisk signal, og sendes til en antenne. Denne antennen sender ut signalet med en elektromagnetisk bærebølge. Denne bølgen forplanter seg til en mottakerantenne, som registrerer signalet, og det blir igjen et elektrisk signal. Dette signalet tolkes og oversettes til informasjonen mottakeren skulle ha.

Bruk bildet av Pavarotti som synger (uten mikrofon og høyttaler) og snakk om stemmen som trådløs kommunikasjon og likheter (prinsippene) og ulikheter (EM bærebølge, ikke lyd-bærebølge bl.a.) med moderne trådløs kommunikasjon.

### *Demo 2 – Simulering av elektromagnetisk bølge*

#### [PhET Simulation \(colorado.edu\)](https://phet.colorado.edu/)



Denne demonstrasjonen viser hvordan et elektrisk signal i en antenne, skaper en elektromagnetisk bølge som forplanter seg, og er en simulering på hvordan dagens trådløse kommunikasjon fungerer. Signalet dempes i



forplantningen, men kan registreres av en annen antenne, og elektronet i mottakerantennen begynner å svinge på samme måte som i senderantennen. Måten signalet svinger på er informasjonen vi ønsker å sende.

I simuleringen kan elevene blant annet endre frekvens og amplitude. Det er lurt hvis signalet står på oscillerende.

### *Demo 3 – Plansje med 0ere og 1ere*

Hvordan signalet som skal sendes digitaliseres, er vist på denne plansjen, eksemplifisert ved lydstyrke for et mikrofonsignal. Med jevne mellomrom blir lydstyrken målt. Lydstyrken blir gitt en tallverdi, som så blir gjort om til en binær kode (tall skrevet i totallsystemet, altså med 0ere og 1ere). På samme måte kan tonen A eller fargen rød representeres ved hjelp av en binær kode.

Denne tallverdien (den binære koden) skal så overføres med bærebølgen, og da kan for eksempel frekvensmodulasjon brukes, som i dette eksempelet.<sup>18</sup> Man kan også bruke fasemodulert eller amplitudemodulert.

Moderne elektronikk behandler signaler mye raskere enn våre øyne og øre, og selv om en sang vil inneholde mye informasjon, kan denne overføringen gjøres på en brøkdel av den tiden det tar å lytte til et lydsignal.

### *Demo 4 – Overføring av en frekvens*

Her demonstreres hvordan en frekvens kan overføres fra en spole til en annen uten fysisk kontakt mellom ledningene.

Det sies at en av forløperne for radiokommunikasjon var et apparat som bygget på induksjonsprinsippet. Det er lite dokumentasjon på dette, men det skal visstnok ha blitt demonstrert en overføring av en liten talesnutt over en kort avstand. Dette defineres likevel ikke som radiokommunikasjon, fordi den ikke brukte elektromagnetiske bølger som dagens trådløse kommunikasjon, men registrerte det varierende magnetfeltet i nærheten.<sup>19</sup>

Dette oppsettet med en frekvensgenerator og en transformator, bygger på samme prinsippet og kan vise at hvis vi har en bestemt frekvens i en spole, vil

---

<sup>18</sup> (Brandt, Hushovd, & Tellefsen, Naturfag SF, 2020)

<sup>19</sup> (Mishkind, 2021)



vi få samme frekvens i en spole i nærheten, selv uten ledning imellom. (Dette kommer av induksjon, noe elevene ikke har noe forutsetning for å forstå.)  
Bruk demonstrasjonen til å vise at høy frekvens på primærsiden gir høy frekvens på sekundærsiden og motsatt, en slags demonstrasjon på trådløs overføring av 0ere og 1ere. (Det må stå en jernkjerne der, men dette er kun for at overføringen av signalet skal være sterkt nok.)

Ta med oppsettet på arbeidspulten til elevene, vis at sekundærspole kun består av en ledning og et måleinstrument, og sett det på jernkjernen. Skru på frekvensgeneratoren og se at frekvensen (høy eller lav) blir lik i de to spolene.

### *Demo 5 - Lys til lyd*

Denne demonstrasjonen står ikke på denne posten, men som ekstra demo på lydposten. Har dere vært på lydposten, referer til den. Har dere ikke vært der, snakk om trådløs kommunikasjon når dere kommer dit.

Her er det røde lyset bærebølgen, og rødt lyst har en bestemt frekvens. Ønsker man å sende tonen A, legger man denne oppå det røde lyset (overlagring). Mottakeren registrerer det innkommende signalet, trekker fra det røde lyset og sitter igjen med tonen A. Bryter man den røde strålen helt eller delvis, mister man så mye informasjon av man ikke klarer å spille av noe annet enn skurring.

Hovedoppgaven på denne posten er at elevene koder en micro:bit til å være sender og mottaker, og at de med micro:bit skal undersøke rekkevidden til signalet den sender ut, og noen egenskaper til å rekkevidde.



## Micro:bit som sender og mottaker

### Micro:bit som sender og mottaker – teori

En micro:bit er en liten datamaskin vi kan programmere til å gjøre det vi ønsker. Den har ulike sensorer innebygget så den kan gjøre målinger, som temperaturen i rommet, lysnivået, akselerasjon og annet. Den har også en sender og en mottaker innebygget, og kan dermed kommunisere trådløst (på frekvensen 2,4 GHz). I denne oppgaven skal vi bruke micro:biten som sender/mottaker og benytte oss av noen av sensorene. Micro:biten har en rekkevidde i luft på omkring 70 meter. Rekkevidden blir mindre med ulike hindringer.

Man bruker [makecode.microbit.org](https://makecode.microbit.org) for å skrive programkode, se oppgaveark for hvordan. Dette er blokkprogrammering, og fungerer som et puslespill. Dere ser i programmet at det er viktig at brikkene passer sammen, for at koden skal fungere.

Micro:biten sender på en bestemt sendereffekt, som sier noe om hvor langt unna/hvor mye hindringer det kan være før man mister signalet, altså **rekkevidden**. Dette er også relevant for annen trådløs kommunikasjon, som mobiltelefoni. Er man langt unna en basestasjon, må man sende med høyere effekt/sterkere signal. Derfor har man kanskje opplevd at mobiltelefonen går raskere tom for strøm når man er på fjellet, langt unna en basestasjon.

I den aller siste oppgaven vil aluminiumsfolien fungere som et Faradaybur, altså et bur der det ikke kan eksistere elektriske felter inne i buret, med opprinnelse utenfra. Det viktige her er at man har et volum som har en elektrisk ledende avgrensende overflate. Siden micro:biten kommuniserer med andre micro:biten med elektromagnetisk stråling så vil et Faradaybur stenge ute strålingen som gjør at den får kontakt med omverdenen.<sup>20</sup>

### Micro:bit som sender og mottaker – praktiske tips

På oppgaven jobber to og to elever sammen. De får 1 PC og 2 micro:biten hver.

Denne oppgaven inneholder flere oppgaver enn de fleste elevene klarer å løse. Det er viktig at alle får brukt micro:biten til å sende beskjer til hverandre. Oppgave 4 er en praktisk oppgave der de får koden, og skal opp å

---

<sup>20</sup> (Wikipedia – Faradays bur, 2023)



teste litt. Denne er lagt her for å gi litt variasjon. Send dem ut på gangen, og la dem prøve signalet i luft, med vegger mellom, og til slutt kan de gjerne få pakke micro:biten inn i aluminiumsfolie for å kontrollere om signalet når frem. Pakk micro:biten i plast først, slik at ikke den åpne elektronikken som er på baksiden av micro:biten kortsluttes. (Hvis de har tid til det, kan de godt pakke inn mobiltelefonen sin også, og prøve å ringe den.)

På oppgave 5 sitter de igjen på plassene sine og koder.

Tips gjerne elevene om at de kan endre til norsk ved å trykke på tannhjulet oppe til høyre og velge «language».

Be dem også slette programmene sine etter de er ferdige. Dette gjøres også på tannhjulet oppe til høyre og «slett prosjekt».

### Micro:bit som sender og mottaker – oppgaveveiledning

Se elevoppgavene og løsningsforslag

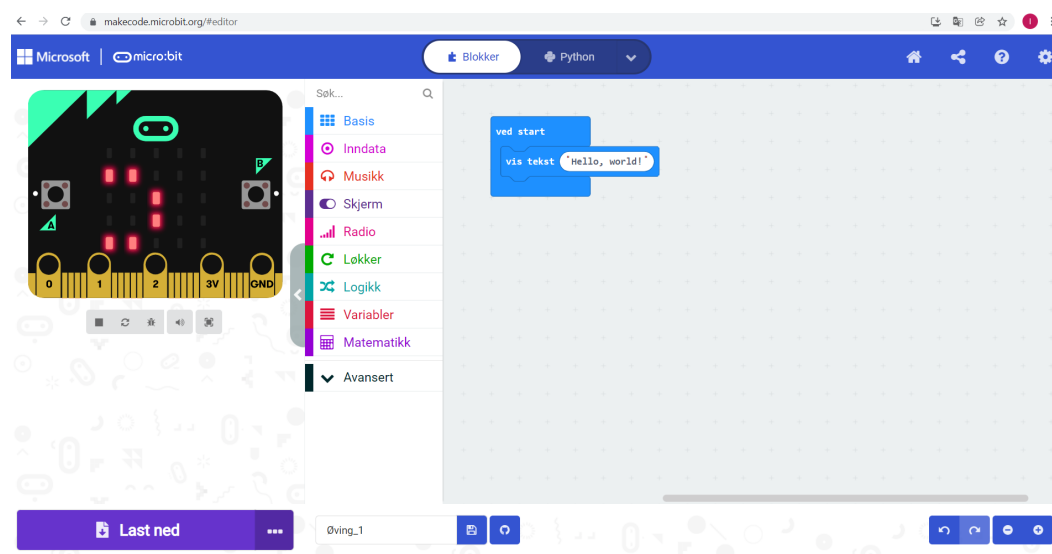


## Oppgavehefte micro:bit

Under finner du 5 oppgaver i stigende vanskelighetsgrad. Oppgave 1 er for deg som aldri har brukt micro:bit før, og viser deg kort hvordan man kan skrive et program, teste programmet i nettleseren og til slutt overføre programmet til micro:biten for gjennomføring.

I denne øvingen skal vi programmere en micro:bit, og det gjør vi her:

<https://makecode.microbit.org/>



Micro:biten kan kjøre programmet når den er koblet til en datamaskin, og det er også mulig å kjøre programmet hvis den er koblet til en batteripakke. Da kan man ta med seg micro:biten rundt i rommet.

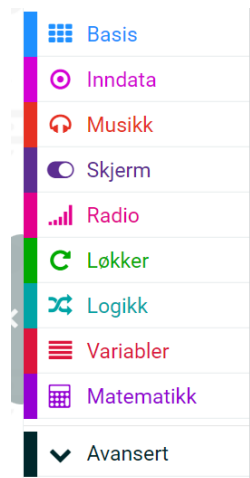
(Når dere starter micro:biten har den et program liggende fra de forrige som jobbet på den. Når dere fører over deres program, vil det gamle programmet skrives over.)

**For å endre språk til norsk**, trykker dere på tannhjulet oppe i høyre hjørne, og velger norsk.



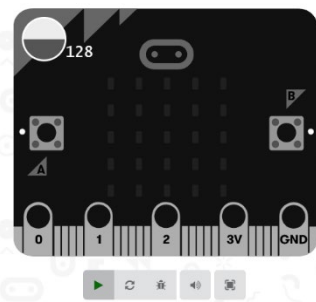
## Oppgave 1 – hvis du er ukjent med micro:bit

- a) Åpne programmet (<https://makecode.microbit.org/>) og lag et nytt prosjekt, som du navngir med et fornuftig navn, f.eks «TK\_opp1». Du finner alt du trenger i menyen midt på skjermen. Vi skal gradvis bli kjent med hva som ligger hvor.



- b) Lag et program som skriver navnet ditt på micro:biten.

Under **basis** finner du «ved start» og «gjenta for alltid». Disse er vanlige å bruke når vi skal starte et program. «Vis tekst» skriver ut valgfri tekst på micro:biten. (Tips: koden på forrige side skriver ut teksten «Hello, world!»)

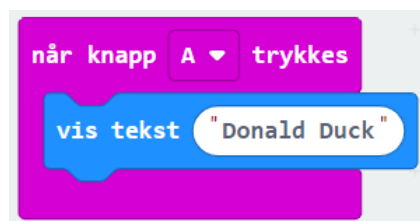


- Trykk på play under bildet av micro:biten til venstre på skjermen, og kontroller at programmet gjør det det skal.
- c) Navnet ditt i oppgaven over skrives når du starter opp/kontinuerlig. Når du ønsker å ha bedre kontroll over når ting skal skje kan du bruke «når...» under **inndata**.

Nå skal du utvide programmet ditt til å gjøre følgende.

- a. Når du trykker på knappen A, så skal micro:biten skrive navnet ditt.
- b. Når du trykker på knappen B, så skal den skrive ut alderen din.
- c. Når du trykker A+B (samtidig), skal den skrive ut hvor du bor.
- d. Når du rister på micro:biten, skal den skrive «Hjelp, stopp!».

- Trykk på play for å teste programmet på skjermen. Trykk på skjermen, så kan du teste de ulike kombinasjonene.

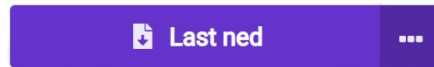






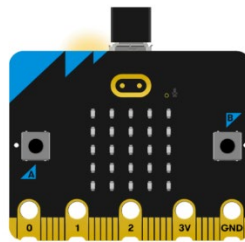
d) Nå skal vi føre over dette programmet til den faktiske micro:biten, og teste at det fungerer. Det gjør du slik:

a. Trykk på «last ned» nederst til venstre.



b. Nå skal det dukke opp et vindu for å koble sammen micro:bit og PC.

1. Connect your micro:bit to your computer



Neste

c. Trykk «neste», «pair» og velg micro:bit som vist på bildet under.

2. Pair your micro:bit to your browser



Press the Pair button below.

A window will appear in the top of your browser.

Select the micro:bit device and click Connect.



Download as File

Pair

d. Trykk «koble til».

Fra nå vil det nye micro:bit programmet dere har skrevet, føres over til micro:biten når dere trykker «last ned».

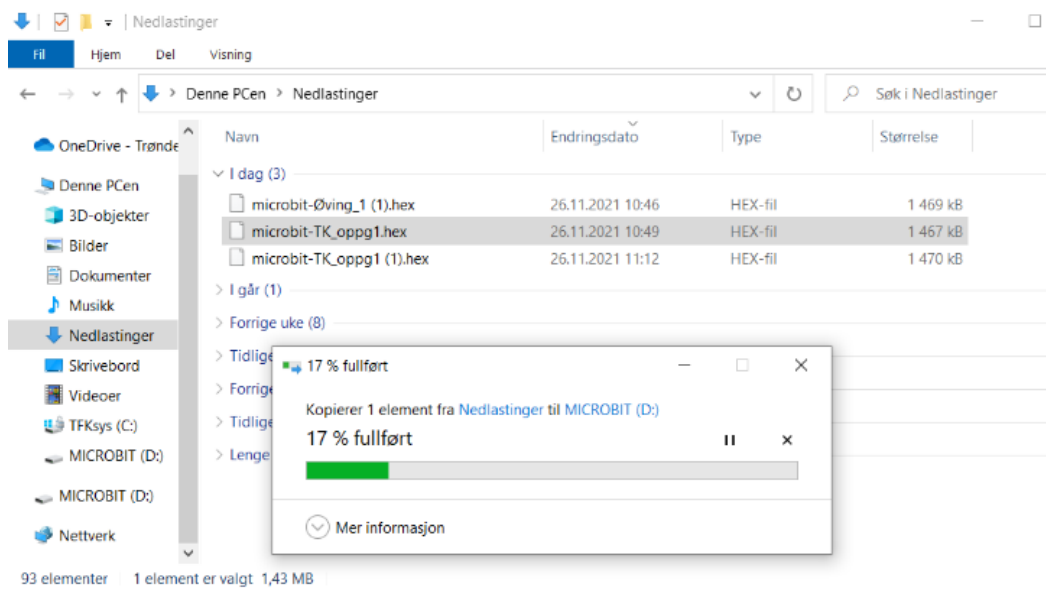
e. Test programmet på micro:biten.

f. Koble micro:biten fra PCen og til en batteripakke. Kontroller at du fortsatt kan kjøre programmet.



Hvis overføringen forklart på forrige side ikke fungerer, kan programmet lastes ned på følgende måte:

- g. Trykk «last ned som fil» via av de tre prikkene til høyre for last ned.
- h. Nå vil programmet dukke opp på nedlastede filer i mappestrukturen, her som «microbit-TK\_opp1.hex».
- i. Koble til micro:biten til PCen din. Denne dukker nå også opp i mappestrukturen din, som «MICROBIT (D:)». «Klikk og dra» programmet over til micro:biten, og vent til programmet er overført.





## Oppgave 2 – hvordan bruke ulike sensorer i micro:bit

Micro:biten har ulike sensorer innebygd. Disse skal vi lære oss å bruke i denne øvingen. Verdiene til målesensorene ligger som variabler under **inndata**.

- a) Lag et program der du får micro:biten til å måle temperaturen i rommet og fortelle deg hvor varmt det er når du trykker på knappen A.
  - Test programmet, men ikke overfør enda.
  
- b) Nå skal du legge til et program der du får micro:biten til å måle lysnivået kontinuerlig («gjenta for alltid») og HVIS («hvis» under **logikk**) lysnivået kommer under et visst nivå (for eksempel 10) så skal den gi et varsel. Den kan for eksempel skrive «tenn lys».
  - Test programmet i nettleseren. Du kan justere lysnivået i sirkelen øverst til venstre.
  
  - Før over programmet til micro:biten og test.
    - Lyssensoren sitter i diodene i rutenettet på fremsiden (de som lyser rødt). Skjerm lyset foran disse, og kontroller at varselet om å tenne lys kommer opp.
    - Trykk på A og se at du får lest ut temperaturen i rommet.



### Oppgave 3 – oppstart sender/mottaker.

I denne oppgaven skal du teste hvordan man kan sende en beskjed fra én micro:bit til en annen ved hjelp av **radio**-funksjonen. Vi trenger da to micro:bitere.

For å få til denne oppgaven bruker du en kombinasjon av funksjonene du finner under **basis**, **inndata** og **radio**. Ved sistnevnte finner du kommandoer for å sende signal og lytte etter signal. En micro:bit kan være enten sender eller mottaker, eller begge deler samtidig.

- a) Det første vi må sørge for er at de to micro:bitene sender og mottar på samme kanal. Det gjør vi ved at vi «ved start» (under **basis**) setter radiogruppe (under **radio**) til samme tall for både senderen og mottakeren. Dette blir som å velge kanal.



Dere kan velge mellom 255 kanaler, men har dere samme som noen av de andre på rommet, blir det bare kluss. IKKE bruk 1, 8 eller 255.

- b) Nå skal du programmere den ene micro:biten til å sende en beskjed når du trykker på A, for eksempel «hei».

Den andre micro:biten skal ta imot denne beskjeden, og skrive den ut på skjermen.

Du kan også kode begge micro:bitene til å både sende og motta, da kan man si «hei, Eline» og svare med «hei, Truls».

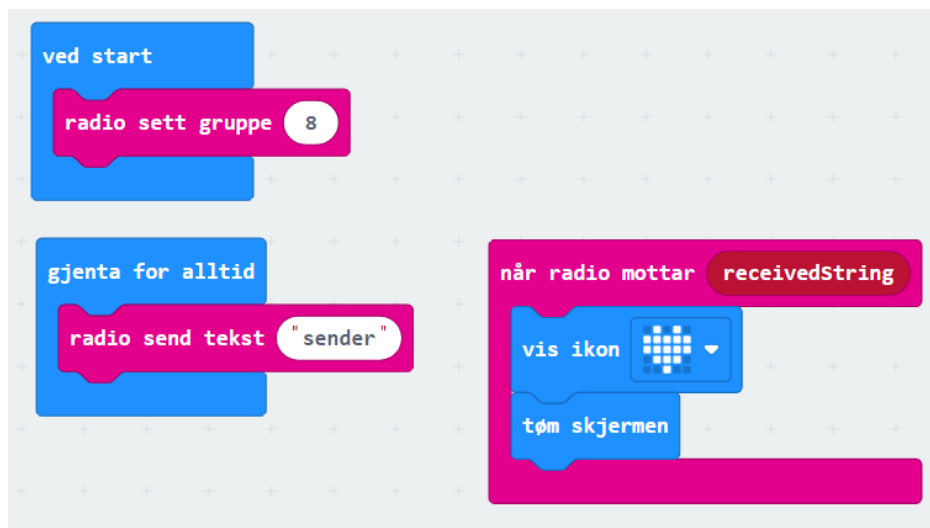
- Overfør programmene til hver sin micro:bit, en sender og en mottaker eller begge som sender og mottaker med hver sin beskjed. Koble til batteripakker, og kjør programmet.



## Oppgave 4 – Rekkevidde

Nå skal vi undersøke hvor lang rekkevidde signalet fra micro:bitene har, og hva som kan stoppe det.

Følgende program er hensiktsmessig for denne oppgaven. Skriv det inn og før det over til to micro:biten. Igjen, ikke bruk radiogruppe 1, 8 eller 255.



Ta en micro:bit hver og undersøk hvor lang rekkevidde de har.

- Hvor langt unna hverandre kan dere være før de slutter å snakke sammen?
- Kan dere snakke med hverandre gjennom vegger?

(Det tar ca 4 sekunder fra den slutter å motta signal, til det gir utslag på den andre micro:biten.)

- Helt til slutt kan du pakke micro:biten inn i aluminiumsfolie.

Legg først micro:biten i en liten plastpose (for at ikke kretskortet skal skades), pakk deretter alt inn i aluminiumsfolie. Det er viktig at både micro:bit, batteripakke og alt av ledninger er godt pakket inn, det skal ikke være noen åpninger.

Får du kontakt med micro:biten nå? Prøv å åpne så vidt på folien, får du kontakt nå?



## Oppgave 5 – micro:bit som en innbruddsalarm

Også i denne oppgaven trenger vi to micro:bit-er. Den ene skal fungere som en sensor og være på vakt, for eksempel når temperaturen blir for høy, det blir for lyst eller den rister. Den andre micro:bit-en skal stå for varslingen, et annet sted enn der den første micro:bit-en befinner seg.

*Case: Vi kan si at den ene micro:bit-en for eksempel er festet til sykkelen din, og hvis noen prøver å stjele sykkelen din, får du beskjed i klasserommet av micro:bit-en som du har i sekken.*

- a) Programmer den ene micro:bit-en slik at den ligger og registrerer om den ristes. Når dette skjer, skal den varsle den andre micro:bit-en. Den kan for eksempel sende ut teksten «sykkeltveri».

La også skjermen til denne micro:bit-en gi et varsel, slik at sykkeltveren skjønner at han er oppdaget. For eksempel kan skjermen blinke X (Hint: Under **basis** finner man «vis ikon» og under **løkker** finner man kommandoer for å «gjenta»).

- b) Den andre micro:bit-en skal være mottakeren, og må fungere slik at den ligger og lytter («når radio mottar»). Med en gang den får en beskjed om at noe skjer skal den varsle, for eksempel at den lyser opp, blinker eller skriver ut en tekst.

## Til slutt

**Slett alle micro:bit-prosjektene deres på PC'en når dere er ferdige på posten, så ikke neste gruppe finner dem.** Dere sletter ved å trykke på tannhjulet oppe til høyre og velge «slett prosjekt».



## Micro:bit som sender og mottaker – Ekstraoppgaver

Under finner dere tre oppgaver dere kan gi til elever som løser oppgavene over raskt. Disse står ikke i elevheftet. Får dere bruk for disse oppgavene, kan dere forvente at elevene er selvgående.

### Ekstraoppgave 1 – skredsøker

Som dere så i forrige oppgave, er det en begrensing på hvor langt unna man kan gå før man mister kontakt. Det er slik at signalet svekkes gradvis. Hvor sterkt et signal er kan man finne ut av ved å lese av «signalstyrke».

Signalstyrken har en verdi fra -128 til -42, der -42 er den sterkeste verdien. Jo nærmere man er -42, desto sterkere er signalet. Signalstyrke er en verdi som ligger under «radio».



mottok pakke signalstyrke ▼

Kod en micro:bit som sender. Den kan sende hva som helst, for informasjon om signalstyrken følger automatisk med. Kod den andre micro:biten som en mottaker, som skriver ut signalstyrken den mottar.

Nå kan dere gjemme sender-micro:biten i klasserommet, så kan en elev bruke mottaker-micro:biten til å finne den gjemte senderen, litt som tampen brenner.

### Ekstraoppgave 2 – hacking

Lag en kode som klarer å fange opp en av de andre gruppene sine beskjeder. Du vet da ikke hvilken radiogruppe de sender på, og må lage en kode som søker gjennom alle «gruppene» det kan sendes på og hvis den klarer å fange opp et signal, så skal denne beskjeden (som ikke var tenkt til deg) skrives ut på skjermen.

### Ekstraoppgave 3 – utvidelse av tyverialarmen

Gå tilbake til sykkeltyverialarmen du lagde i oppgave 4. Lag nå en sensor som kan registrere ulike ting og sender ulike beskjeder avhengig av hva som skjer. For eksempel:

- Hvis for høy temperatur, varsle brann
- Hvis ristes, varsle innbrudd
- Hvis for peker mot nord, si at den skal snu.
- Finn på noe eget ...

## Løsningsforslag – trådløs kommunikasjon med micro:bit

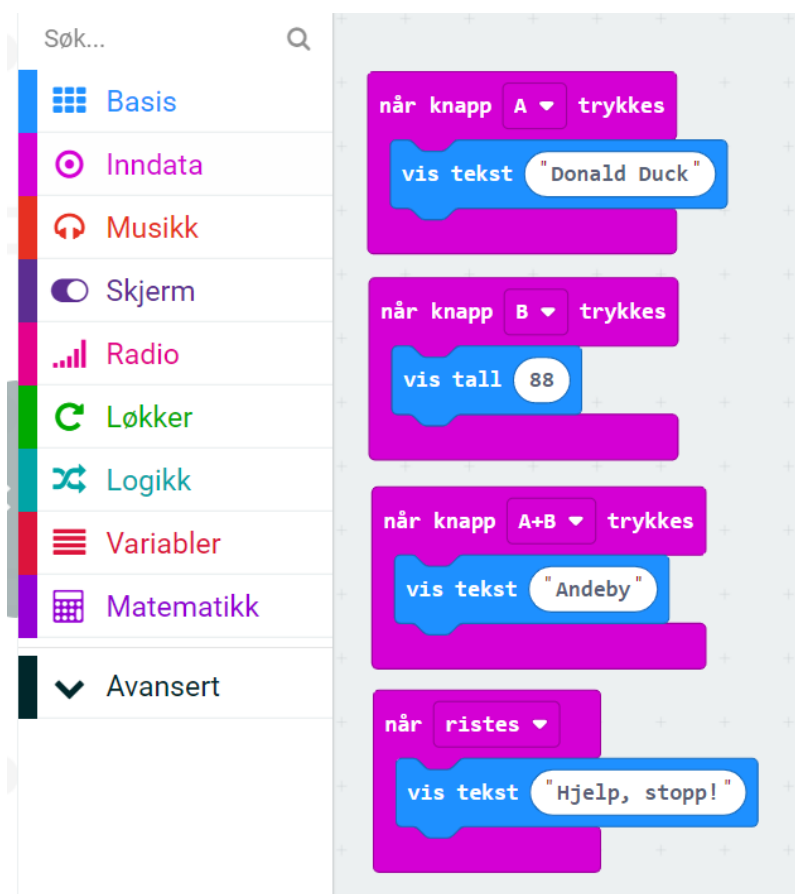
Oppgave 1 – hvis du er ukjent med micro:bit

a) –

b)



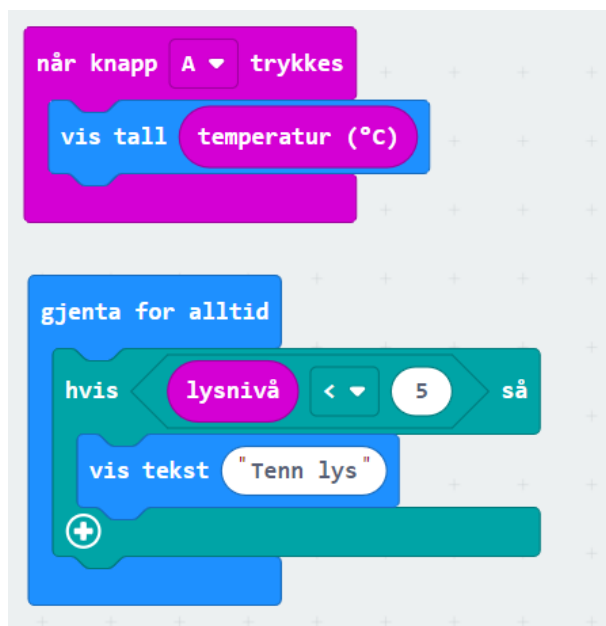
c)







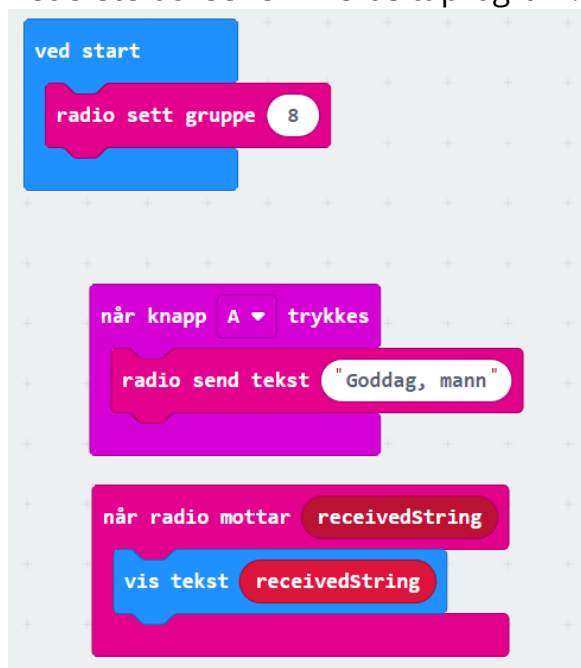
## Oppgave 2 – hvordan bruke ulike sensorer i micro:bit



(Å reagere på lysnivå under 50 er nok for høyt, opptil 20 burde være greit. Men velg heller for liten enn for stor, det er lettere å skjerme mer enn å legge inn ny kode.)

## Oppgave 3 – oppstart sender/mottaker

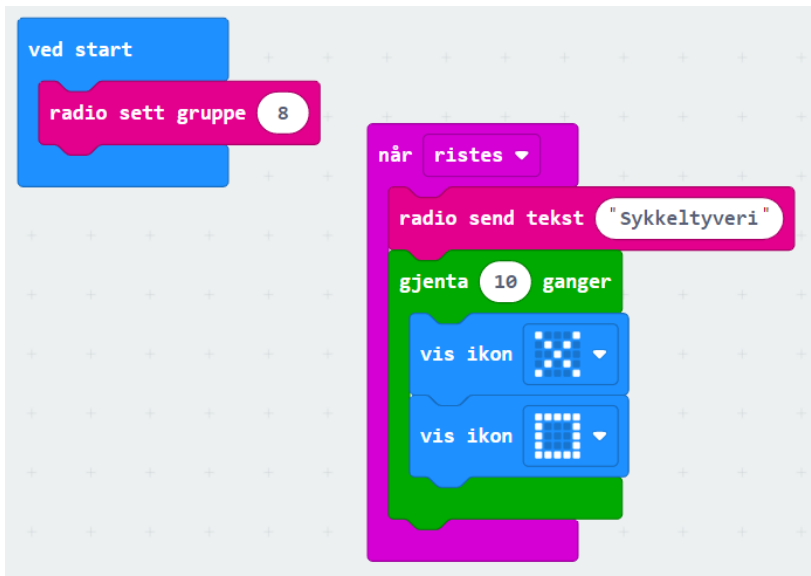
Under fungerer micro:biten som både sender og mottaker. Koder man micro:biten som enten sender eller mottaker, er det bare å ta hver av de nederste boksene i hvert sitt program.



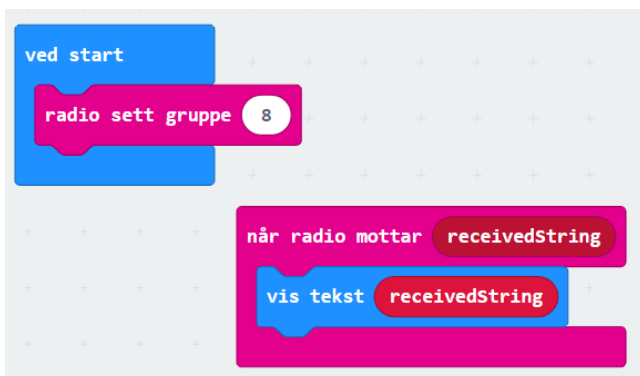


## Oppgave 4 –micro:biten som en innbruddsalarm

Den som skal registrere



Den som mottar





## Ekstraoppgave 1 - skredsøker

De som er kommet hit, kan jo en del med micro:bit og må gjerne få lov til å leke seg litt selv, lage egne oppgaver og de kan få litt større utfordringer i å finne løsningene selv. Men her er et forslag til hvordan mottakeren kan kodes. Sender kan kodes til å sende hva som helst, for signalstyrken sendes automatisk. Bare husk å sette samme gruppe.

```
ved start
  radio sett gruppe 1

  når radio mottar receivedString
    vis tall mottok pakke signalstyrke
```

## Ekstraoppgave 2 – hacking

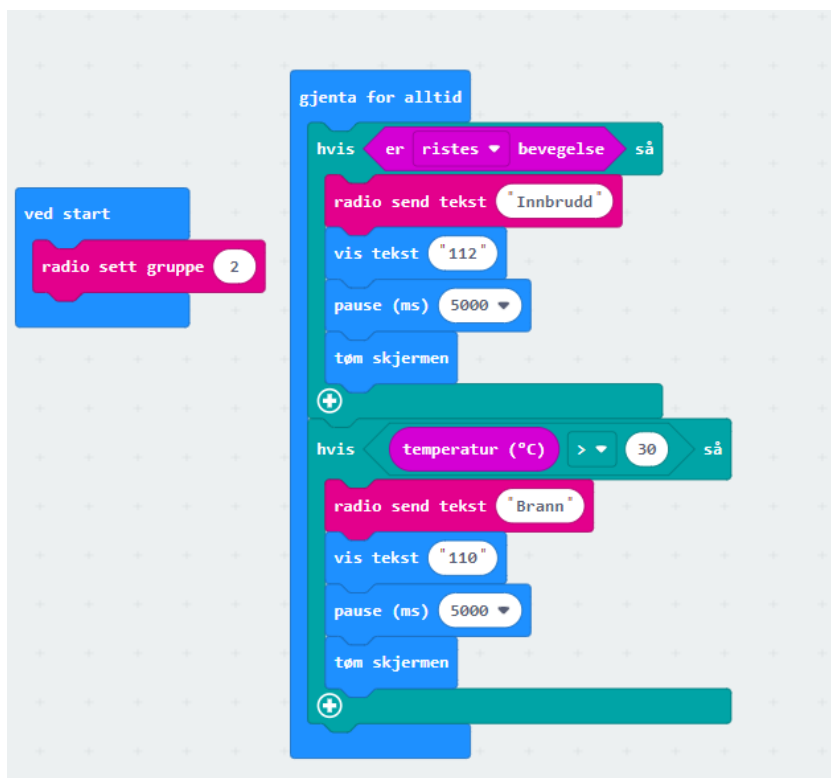
```
ved start
  radio sett gruppe 1

  gjenta for alltid
    gjenta for radiogruppe fra 0 til 255
      radio sett gruppe radiogruppe
      pause (ms) 500

  når radio mottar receivedString
    vis tekst receivedString
```



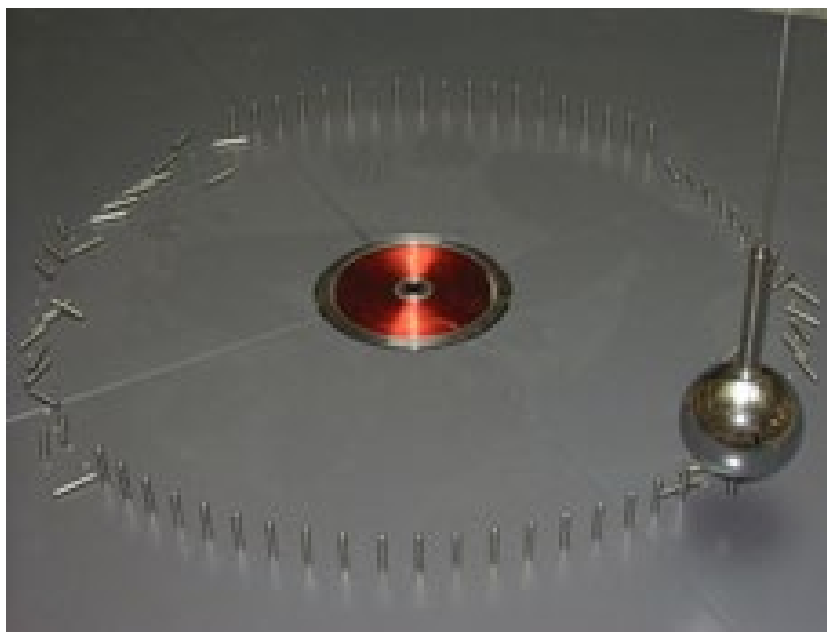
### Ekstraoppgave 3 – tyverialarm utvidet





## Foucaults pendel

Dersom dere har ekstra tid, vis gjerne fram Foucaults pendelforsøk, som viser at jorda roterer om sin egen akse.



Den 25 meter lange Foucaultpendelen som henger i Realfagbygget er Norges største, og den er en kopi av fysikeren Jean Bernard Léon Foucaults berømte demonstrasjon i Pantheon, Paris i 1851.

Foucaults pendelforsøk var den første laboratedemonstrasjon som viste at jorda roterer om sin egen akse. Dette er fortsatt det enkleste og mest visuelle bevis på jordens rotasjon. I sin demonstrasjon brukte Foucault et lodd på 28 kilo og pendelen var 67 meter lang.

Pendelen ved NTNU er en 40 kilo tung stålkule med en diameter på 20 centimeter og henger i en 25 meter lang wire. Dette gjør denne pendelen til en av de lengste og nordligste foucaultpendler i Europa.

Poenget med en Foucaultpendel er å demonstrere at jorden roterer. Forsøket er i prinsippet svært enkelt – vi tar en pendel, dvs. et lodd som henger i en snor, og setter loddet i svingninger. Vi vil se at pendelens svingeplan tilsynelatende dreier seg langsomt. Når pendelen er satt i svingning, vil den beholde sin svingeretning i forhold til stjernene, mens underlaget vil flytte seg når jorden roterer. I forhold til stjernene roterer jorden med en omdreining på 23 timer og 56 minutter. At det ikke er nøyaktig 24 timer kommer av at pendelen svinger i forhold til stjernene og vi



anvender jordens rotasjon i forhold til stjernene og ikke til solen. Ved ekvator står pendelens svingeplan stille i forhold til underlaget. Her i Trondheim tar en full syklus 26 timer og 46 minutter.

For å vise rotasjonen tydelig vil pendelen hvert tiende minutt slå ned en av de 81 stålpinnene som er satt opp i ring under pendelen.

### Tips

Har gruppa di god tid? Ta dem gjerne med ned for å sette opp pinnene rundt pendelen.



## Referanser

- Brandt, H., Fonstad, T., Hushovd, O. T., & Tellefsen, C. W. (2006). *Naturfag 5*. Skien: Aschehoug.
- Brandt, H., Hushovd, O. T., & Tellefsen, C. W. (2020). *Naturfag SF*. Skien: Aschehoug undervisning.
- Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet. (2023, 05 12). *Sol, solarium og helserisiko*. Hentet juni 20, 2023 fra DSA: <https://dsa.no/sol-og-solarium/sol-og-solarium-og-helserisiko>
- Grimenes, A. A., Jerstad, P., & Sletbak, B. (2016). *Rom Stoff Tid Forkurs Grunnbok*. Cappelen Damm.
- Holtebekk, T. (2018, 01 09). *Refleksjon*. Hentet fra Store norske leksikon: [https://snl.no/refleksjon\\_-\\_fysikk](https://snl.no/refleksjon_-_fysikk)
- Jerstad, P., Sletbak, B., Grimenes, A., Renstrøm, R., Holm, O., & Nymo, M. (2013). *Rom Stoff Tid 1*. Oslo: Cappelen Damm.
- Johansen, A., & Bøhle, K. (2020, 03 18). *Elektromagnetisk og ioniserende stråling*. Hentet fra NDLA.
- Mishkind, B. (2021, 05). *Nathan Subblefield – Did He Invent Radio?* Hentet fra The Broadcasters' Desktop Resource: <https://www.thebdr.net/nathan-subblefield-did-he-invent-radio/>
- Sandvig, K. (2018, 07 23). *Syn*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://sml.snl.no/syn>
- Skaar, J. (2018, 11 16). *Grensevinkel*. Hentet fra Store norske leksikon: <https://snl.no/grensevinkel>
- Sletbakk, M. m. (2007). *BIOS*. Oslo: Cappelen.
- Specsavers. (2023, 06 20). *Unngå disse feilene når du kjøper solbriller*. Hentet fra Specsavers: <https://www.specsavers.no/briller/solbriller/om-solbriller/unnga-disse-feilene-ved-kjop-av-solbriller>
- Stette, G. (2022, 08 27). *Radiobølger*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/radiob%C3%B8lger>
- Svendsen, B., Juel, L., Stølevik, E., & van Marion, P. (2020). *Senit*. Oslo: Gyldendal.



Wagner, N. M. (2020, 08 06). *Trådløs kommunikasjon med radiosignaler*. Hentet fra NDLA.

*Wikipedia – Faradays bur*. (2023, 11 23). Hentet fra Wikipedia:  
[https://no.wikipedia.org/wiki/Faradays\\_bur](https://no.wikipedia.org/wiki/Faradays_bur)

*Wikipedia - Helmholtz resonance*. (2023, 12 16). Hentet fra Wikipedia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz\\_resonance](https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_resonance)

*Wikipedia - Pythagorean cup*. (2023, 11 11). Hentet fra Wikipedia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Pythagorean\\_cup](https://en.wikipedia.org/wiki/Pythagorean_cup)

YouTube. (2016). *How to make the sound of a Star Wars blaster*. Hentet fra YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=ZuMEfzD8aS0>











Foto: Per Henning/NTNU

Heftet er en samling av oppgavene som er brukt under Bølgeløypa 2025.

I Bølgeløypa får elever på vg1 studie-spesialisering komme til NTNU Gløshaugen og lære om bølger, stråling og trådløs kommunikasjon.

Bølgeløypa ble for første gang arrangert i 2022, og er utviklet etter ny læreplan ble innført høsten 2020. Ingrid Langdal, som jobber som lektor ved Charlottenlund vgs, har i de siste årene vært tilknyttet Skolelaboratoriet i en deltidsstilling for å blant annet utvikle dette tilbudet.

Bølgeløypa er en del av prosjektet Realfagløypene, og har erstattet den avsluttede Energiløypa.

Realfagløypene er støttet økonomisk av Fakultet for ingeniørvitenskap, Fakultet for naturvitenskap, Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk, Fakultet for økonomi, Trøndelag fylkeskommune og Samarbeidsforum.

Ingeborg Berg  
Prosjektleder for Realfagløypene  
Skolelaboratoriet ved NTNU  
E-post: [ingeborg.berg@ntnu.no](mailto:ingeborg.berg@ntnu.no)



NTNU

**Skolelaboratoriet**  
for matematikk, naturfag  
og teknologi  
[www.ntnu.no/skolelab](http://www.ntnu.no/skolelab)

**Institutt for energi- og  
prosessteknikk**

**Institutt for  
elektroniske systemer**